

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

**ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA
TÉCNICA DE TELECOMUNICACIÓN**



PROYECTO FIN DE CARRERA

**DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y VERIFICACIÓN
DE UNA ANTENA DE MICROONDAS**

JAVIER RUIZ GONZÁLEZ

SEPTIEMBRE 2013



E.U.I.T. TELECOMUNICACIÓN

PROYECTO FIN DE CARRERA PLAN 2000

TEMA: COMUNICACIONES VÍA SATÉLITE

TÍTULO: DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y VERIFICACIÓN DE UNA ANTENA DE MICROONDAS

AUTOR: JAVIER RUIZ GONZÁLEZ

TUTOR: JOSÉ ENRIQUE GONZÁLEZ GARCÍA

Vº Bº.

DEPARTAMENTO: DIAC

Miembros del Tribunal Calificador:

PRESIDENTE: MANUEL CÉSAR RODRÍGUEZ LACRUZ

VOCAL: JOSÉ ENRIQUE GONZÁLEZ GARCÍA

VOCAL SECRETARIO: FLORENTINO JIMÉNEZ MUÑOZ

DIRECTOR: ALBERTO BRAVO SÁNCHEZ

Fecha de lectura: DE SEPTIEMBRE DE 2013

Calificación:

El Secretario,

RESUMEN DEL PROYECTO:

Durante este proyecto trataremos los siguientes aspectos:

En una primera fase, describimos la etapa de diseño y simulación de nuestra Antena, los diferentes elementos que componen el equipo, así como, parámetros eléctricos que debemos tener en cuenta durante el diseño para adaptar su comportamiento a los requisitos solicitados por el cliente.

Antes de realizar la verificación de la Antena, procedemos a la definición de los ensayos a realizar sobre el equipo. Pruebas y medidas, niveles de test, etc. que nos ayudan a demostrar que nuestra Antena está preparada para realizar su misión en el espacio.

Una vez determinados los test y con la Antena fabricada, procedemos a la fase de ensayos. Medidas en Laboratorio y Radiación, ensayos de vibración y cámaras térmicas de vacío, y medidas eléctricas en condiciones extremas de temperatura y presión. Analizamos los resultados obtenidos en cada una de las pruebas y los comparamos con las simulaciones obtenidas durante la fase de diseño.

Finalmente, se alcanzan las conclusiones de la verificación y estudiamos posibles mejoras a tener en cuenta en futuros programas.

Resumen

A lo largo de este proyecto se han tratado las diferentes fases que tienen lugar durante el desarrollo del programa de Diseño y Verificación de una Bocina en Banda C destinada a un satélite comercial de comunicaciones.

En un primer lugar, se introduce el proyecto en el mundo real realizando una pequeña aproximación a los satélites artificiales y su historia.

Después, en una primera fase, se describen los diversos puntos de la etapa de diseño y los resultados de la simulación de nuestra Antena. Se estudian por separado los diferentes elementos que componen el equipo, y además, se realiza un análisis de los parámetros eléctricos que se deben tener en cuenta durante el diseño para adaptar el comportamiento de la Antena a los requisitos solicitados por el cliente.

Antes de realizar la verificación de la Antena, se procede a la definición de los ensayos, que se debe realizar sobre el equipo con el fin de simular las condiciones a las que se verá sometido. Pruebas y medidas, niveles de test, etc. que nos ayudan a demostrar que nuestra Antena está preparada para realizar su misión en el espacio. Se hará una descripción sobre la forma de realizar de los ensayos y de las instalaciones donde se van a llevar a cabo, además del orden que llevaremos durante la campaña.

Una vez determinados los test y con la Antena fabricada y lista, se procede a la Verificación de nuestro equipo mediante la Campaña de Ensayos con el objetivo de caracterizar por completo el funcionamiento de nuestra Antena en cualquier circunstancia. Se muestran los resultados obtenidos en los test siguiendo el orden establecido por el Test Plan. Medidas en Laboratorio y Radiación, los test de vibración y las pruebas ambientales en las Cámaras Térmicas de Vacío, y medidas eléctricas en condiciones extremas de temperatura y presión. Y una vez realizada la Campaña, se vuelve a medir la Antena para comprobar el funcionamiento tras soportar todos los ensayos. Se analizan los resultados obtenidos en cada una de las pruebas y se comparan con las simulaciones obtenidas durante la fase de diseño.

Finalmente, se realiza un pequeño resumen de los valores más importantes obtenidos durante la Verificación y exponen las Conclusiones que se desprende de dicho proceso. Como último punto del proyecto, se estudian las correcciones y mejoras que se podrán llevar a cabo en futuros programas gracias a lo que hemos aprendido en este proyecto.

Abstract

This project presents a C Band Horn Antenna for a commercial communications satellite. All the different phases from Design to Verification are presented.

First of all, an introduction to artificial satellites and their history is presented to put this project into perspective.

Next, the electrical design of the Antenna is presented. Taking into account the theoretical fundamentals, each element that comprises this Antenna was designed. Their electrical performances, obtained from analysis using commercial software, are presented in the simulation results. In the design of each element of the antenna, some critical parameters are set and optimized in order to be compliant with the global requirements requested by the customer.

After the design is completed, it is necessary to define the Test Campaign that has to be carried out in order to verify the validity of the designed and manufactured Antenna. Therefore, a Test Plan and the Electrical and Environmental Test Procedures are defined. This Test Campaign must be representative of the same conditions of the real space mission. Considering this, the following are defined: parameters for the network analyzer and radiation patterns measurements; test levels for the environmental test; definition of the RF measurements to be carried out and the temperatures to be applied in the thermal vacuum cycling. If the Antenna surpasses these tests, it will be ready to perform its mission in space over the entire satellite's life cycle. The facilities where the tests are performed, as well as the sequence of the tests along the campaign are described too.

After that, the Test Campaign is performed to fully characterize the Antenna in the space simulated conditions. Following the order established in the Test Plan, a radiation pattern and laboratory parameters are measured to correlate its electrical response with the simulations. Then, vibration and thermal vacuum tests are performed to verify its behavior in extreme environmental conditions. Last, if the final electrical results are the same as the initial ones, it can be stated that the antenna has successfully passed the Test Campaign.

And finally, conclusions obtained from the data simulation design and Test Campaign results are presented. Status of Compliance with the specification is shown to demonstrate that the Antenna fulfills the requested requirements. Although the purpose of this project is to design and verify the response of C Band Horn Antenna, it is important to highlight improvements for future developments and the lessons learnt during this project.

Agradecimientos

Me gustaría dar mi agradecimiento a todas las personas que me han apoyado a lo largo de estos años.

En primer lugar, quiero dar las gracias a mi Tutor José Enrique y a mi Director en RYMSA, Alberto por la ayuda y paciencia que me han brindado durante la realización de este proyecto.

A mis padres, Juanma y Laura, y mi hermana Patricia, y a toda mi familia porque durante todos estos años me han dado su amor y cariño, ánimos cuando ha sido necesario y finalmente su apoyo para cerrar esta etapa.

A Aida por aguantarme todos estos años y ayudarme a no tirar la toalla.

A los Patatas, Javi, Pablo y Manuel, porque desde preescolar han pasado muchas cosas, pero han seguido ahí siempre. Y a Paula, que, aunque llego más tarde, ya es uno más.

A Rymsa por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto y sobre todo, mis compañeros de Ensayos y de Diseño por todas las dudas que han solucionado y todo lo que he aprendido de ellos.

Finalmente no quiero olvidarme de estas las personas que de un modo u otro me han ayudado o apoyado a realizar este proyecto.

Gracias a todos.

Índice de Contenidos

Capítulo 1. Introducción.....	11
1. Satélites artificiales	13
1.1. Historia.....	13
1.2. Clasificación de Satélites según su Órbita	15
1.3. Estructura de un Satélites de Comunicaciones	17
2. Introducción al Proyecto	19
Capítulo 2. Diseño.....	21
1. Introducción	23
2. Condiciones de Diseño	24
3. Análisis Eléctrico de la Bocina y el Sunshield.....	26
3.1. Introducción	26
3.2. Aperturas	26
3.3. Campos radiados por aperturas	27
3.4. Bocinas	31
3.5. Análisis de nuestra Bocina	40
3.6. Efecto del SunShield	44
3.7. Resultados del Análisis.....	46
4. OMT (OrthoMode Transducer)	60
4.1. Diseño del OMT	60
4.2. Resultados del OMT	62
4.3. Análisis de Potencia	64
5. Transición Coaxial a Guía-Onda.....	69
6. Test Cap	72
6.1. La sección absorbente.....	72
6.2. Transición de salida a Coaxial.....	72
6.3. Resumen del Test Cap	73
7. Tabla de Cumplimientos	74
8. Conclusiones	76
Capítulo 3. Procedimientos de medida.....	77
1. Introducción	79
2. Medidas Eléctricas de Laboratorio.....	80
2.1. Equipamiento de Ensayos	80
2.2. Secuencia de Test	81
2.3. Medida de la Antena con el Analizador de Redes.....	82

2.4.	Medida de la Antena y el Test Cap con el Analizador de Redes.....	83
2.5.	ESD (Resistencia DC entre dos puntos de la Antena)	85
2.6.	Realización de los Test.....	86
2.7.	Error de Medida	88
3.	Medidas de Radiación de Campo Lejano en el Campo de Medida Compacto (Compact Range).....	89
3.1.	Equipos de Medida	89
3.2.	Secuencia de Test.....	91
3.3.	Test Set Up.....	94
3.4.	Medidas	98
4.	Procedimiento de Medidas en Cámara.....	106
4.1.	Secuencia de Medida de la Antena	107
4.2.	Set up de Medidas en Cámara Térmica de Vacío.....	113
Capítulo 4.	Test Plan.....	115
1.	Introducción	117
2.	Descripción de los objetivos y requerimientos de los Test	118
3.	Matriz de Ensayos	119
4.	Descripción de los Métodos de Ensayo Eléctricos	120
4.1.	Descripción de los Test	120
4.2.	Medidas de los Diagramas de Radiación	121
4.3.	Medidas de Laboratorio	121
5.	Ensayos Ambientales	122
5.1.	Test de Vibración.....	122
5.2.	Test de Cámara Térmica de Vacío.....	128
6.	Condiciones de Test	132
6.1.	Condiciones del Laboratorio	132
6.2.	Equipos de Ensayos	133
Capítulo 5.	Campaña de Ensayos	135
1.	Introducción	137
2.	Medidas Iniciales	138
2.1.	Medidas Iniciales de Laboratorio	139
2.2.	Medidas Iniciales de Radiación	144
3.	Test de Vibración.....	159
3.1.	Introducción	159
3.2.	Realización del Ensayo	160
3.3.	Presentación de Resultados.....	163
3.4.	Análisis de Resultados	166

4. Medidas de Post Vibración	167
4.1. Presentación de Resultados	168
4.2. Análisis de Resultados	169
5. Ensayo Térmico y de Vacío	170
5.1. Introducción	170
5.2. Realización del Ensayo	171
5.3. Presentación de Resultados Ambientales	173
5.4. Análisis de Resultados Ambientales	175
5.5. Presentación de Resultados Eléctricos	176
5.6. Análisis de los Resultados Eléctricos	182
6. Medidas Finales	184
6.1. Medidas Finales de Laboratorio	185
6.2. Medidas Finales de Radiación	191
7. Medidas de ESD (Resistencia DC)	213
7.1. Introducción	213
7.2. Presentación de Resultados	214
7.3. Análisis de Resultados	214
Capítulo 6. Conclusiones y Trabajos Futuros	215
1. Conclusiones	217
1.1. Tabla de Cumplimientos	219
2. Trabajos futuros	221
2.1. Reordenación de la medida de ESD	221
2.2. Mejora de las Medidas en Cámaras Térmicas	222
2.3. Mejoras de los Campos de Antenas	224
Bibliografía	227
Anexo A. Gráficas de Vibración	231

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1. SATÉLITES ARTIFICIALES

1.1. Historia

Desde que en 1686 Isaac Newton enuncia su teoría de la gravitación universal, se sientan las bases para el uso de satélites artificiales. Desde aquel momento, la imaginación de los hombres despegó de la Tierra y se interno en el espacio, entre todos ellos podemos destacar a Julio Verne, cuando el 1865 publica se novela *De la Tierra a la Luna*, parece pronosticar lo que en un futuro nos deparará la exploración espacial.

Sin embargo, no es hasta mucho tiempo después, cuando el científico ruso Konstantín Tsiolkovski, considerado uno de los padres de la astronáutica, no realiza el primer tratado académico serio sobre el empleo de cohetes para colocar objetos en órbita alrededor de la Tierra.

Ya en 1945, es otro escritor de ciencia ficción, el británico Arthur C. Clarke, el que sugirió en una de sus publicaciones establecer una red de satélites en órbita alrededor de la Tierra de tal manera que para un observador en la superficie pareciera que no se moviesen. Su propuesta consistía en colocar tres satélites en una órbita de unos 36000 km y con una velocidad de rotación de 24 horas. Estos tres satélites se distribuirían con un ángulo de 120° entre cada uno con el fin de conseguir una cobertura global [1]. Posteriormente, esta órbita sería conocida como órbita geoestacionaria.

Pero fue después de la Segunda Guerra Mundial, y debido al gran avance que hubo en la tecnología de los cohetes, que serían utilizados como lanzadores, durante esta contienda, cuando en el período conocido como Guerra Fría, los Estados Unidos y la URSS se embarcaron en la llamada *Carrera Especial*. Durante esta etapa de la historia se produjo el gran avance necesario para la exploración espacial. Atrapados en una carrera sin límites, las dos superpotencias, dedicaron ingentes cantidades de dinero en sus programas espaciales con el fin de superarse la una a la otra.

Finalmente, fue la URSS la que, el 4 de Octubre 1957, lanzó el Sputnik 1. Una pequeña esfera de metal y cuatro antenas que pesaba unos 83 kg de peso y que disponía de unos pocos instrumentos científicos, entre ellos, dos emisores de radio que transmitían los datos recopilados a la Tierra. Se convirtió de esta forma, en el primer satélite artificial lanzado satisfactoriamente por el hombre capaz de orbitar la Tierra. Finalmente, y tras 1400 órbitas alrededor de la Tierra, entró de nuevo a la atmósfera y fue destruido en la reentrada.

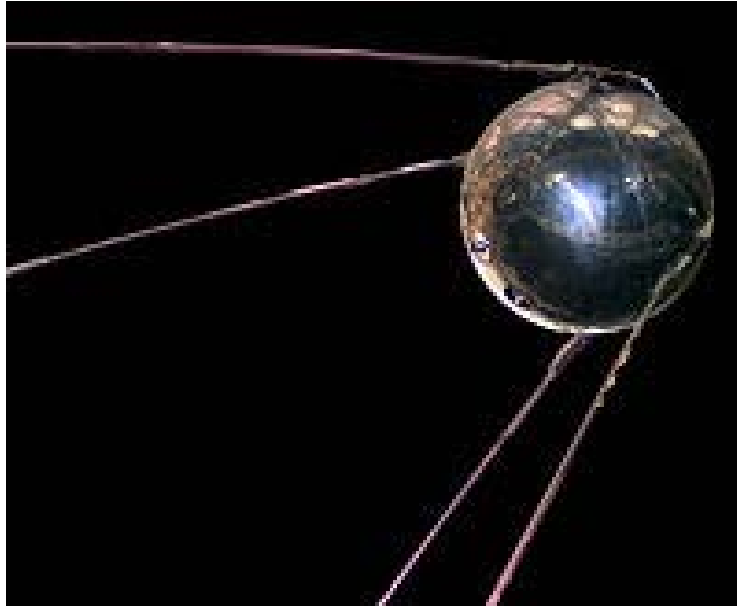


Figura 1.1.1.- Recreación del Sputnik 1

Desde el lanzamiento de este primer satélite, que inauguró la era espacial, se han sucedido muchos lanzamientos hasta nuestros días y los satélites artificiales se han convertido en parte indispensable de la vida que conocemos.

1.2. Clasificación de Satélites según su Órbita

Debido a la gran cantidad de satélites que en estos momentos orbita la Tierra, debemos realizar una clasificación de éstos. Uno de los parámetros más extendidos para realizar la clasificación es la órbita que trazan estos satélites alrededor de la Tierra.

Dependiendo de su misión, los satélites se colocan en órbitas más o menos cercanas a la Tierra; por ejemplo, los satélites de observación terrestre necesitan encontrarse en una órbita baja para poder obtener fotografías, escáneres u otras lecturas de la superficie. En cambio, los utilizados para comunicaciones o meteorológicos, se sitúan en órbitas mucho más altas, a miles de kilómetros de la Tierra.

La mayoría de satélites de comunicaciones se sitúa en la órbita geoestacionaria, aunque debido a la demanda cada vez mayor de estos servicios, esta órbita se empieza a encontrar saturada. Por este motivo, algunos satélites empiezan a ocupar otras órbitas menos pobladas. En la siguiente tabla se muestran las diferentes órbitas de satélites artificiales [2].

Órbita	Altura	Velocidad	Función del Satélite	Ventajas de la órbita
Órbita baja	250 - 1500 km	7113-7755 km/s	Comunicaciones Móviles y Observación de la Tierra	Poco retraso en las comunicaciones y requiere menor potencia
Órbita Polar	500 - 800 km sobre el eje polar	7452-7613 km/s	Clima y navegación	Se encuentra perpendicular al Ecuador por lo que al rotar la Tierra, observa distintas regiones del planeta
Órbita geoestacionaria	35786 km sobre el plano ecuatorial	3075 km/s	Comunicación, clima y navegación	Al rotar a la misma velocidad de la Tierra, el satélite se percibe fijo en el espacio y le da especial servicio a una región particular
Órbita elíptica (Tipo Molniya)	Perigeo: 200-1000 km Apogeo: ~ 36000 km	Perigeo: ~9.5 km/s Apogeo: ~1.5 km/s	Comunicación	Permite dar servicio a latitudes muy grandes

Tabla 1.2.1.- Tipos de órbita de los satélites artificiales [3]

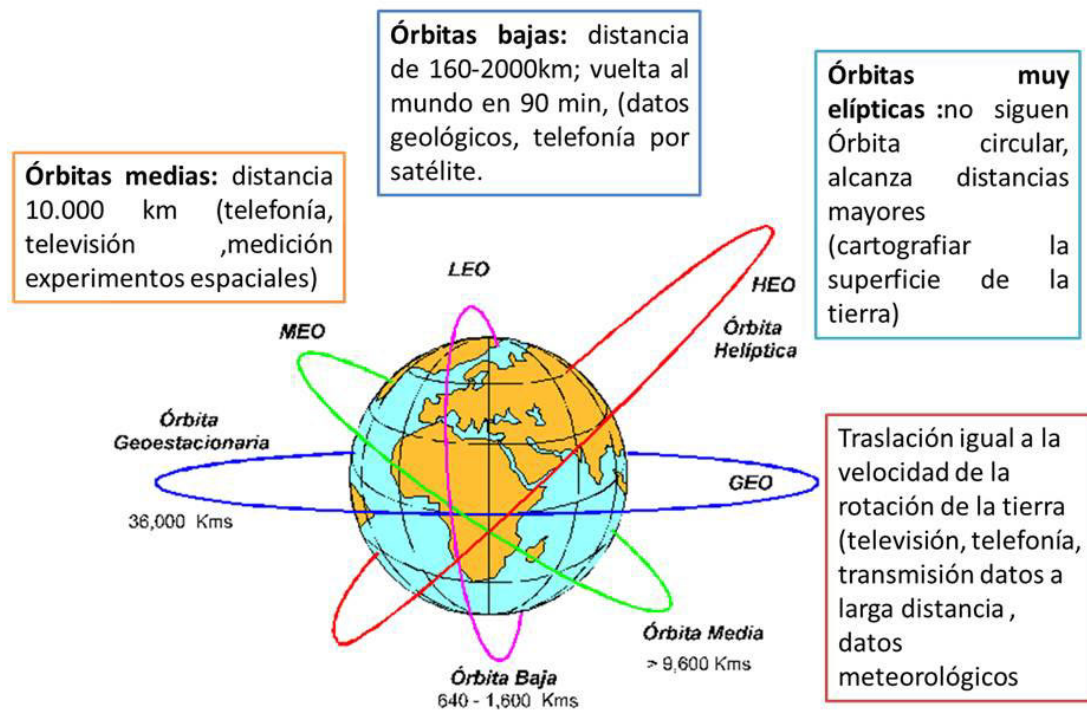


Figura 1.2.1.- Diagrama de órbitas de los satélites artificiales y principales usos [4]

1.3. Estructura de un Satélites de Comunicaciones

El diseño de los satélites ha cambiado mucho desde aquella sencilla esfera de metal con antenas que era el Sputnik 1, hasta la actualidad. Sin embargo, su razón de ser, así como la mayor parte de los elementos, sigue siendo la misma. Con el paso del tiempo y los avances tecnológicos, nos han proporcionado instrumentos más precisos, sistemas de energía más potentes y componentes mucho más ligeros, pero, en esencia, siguen siendo los mismos. [5]

Los satélites pueden dividirse en dos elementos principales, la *plataforma o bus* y la *carga útil*.

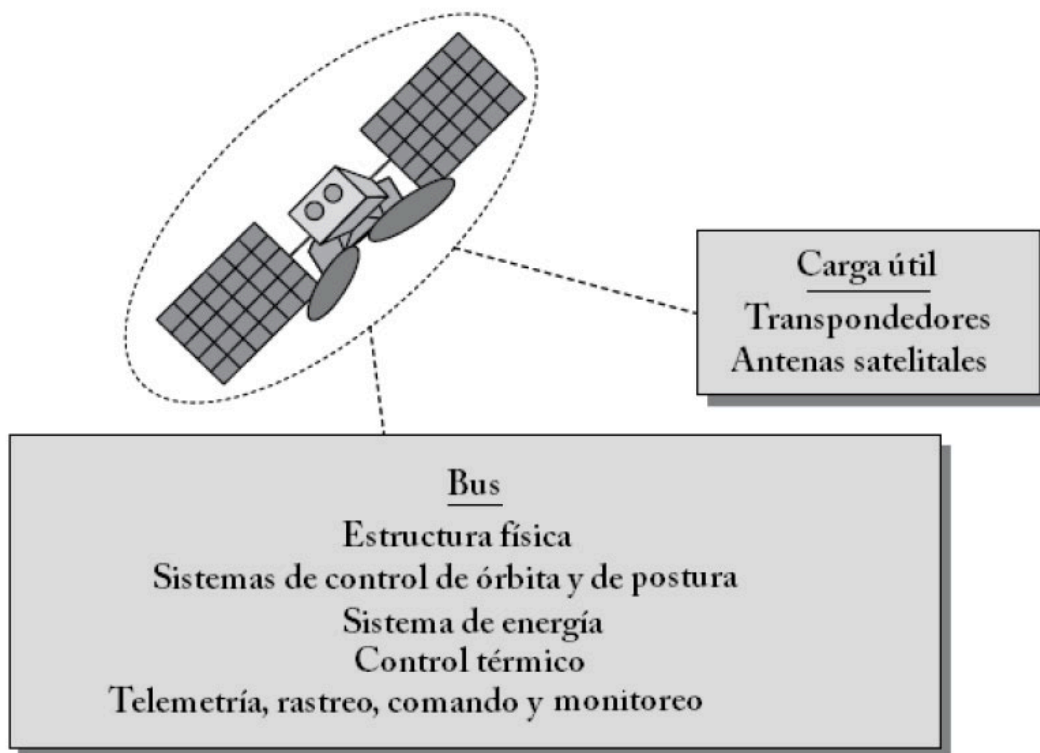


Figura 1.3.1.- Estructura de un Satélite [2]

La *plataforma o bus* es la estructura básica del satélite y donde se encuentran todos los subsistemas necesarios para el funcionamiento del satélite, estructura física, subsistema de potencia, subsistemas de telemetría y control, etc. Esta parte suele ser común en muchos satélites, normalmente, en los satélites comerciales, existen diferentes familias de plataformas sobre las que se van colocando diferentes cargas útiles dependiendo del objetivo de dicho satélite.

Y la *carga útil*, esta parte viene determinada por la misión del satélite, como ya hemos dicho antes, es la parte que define el objetivo de dicho satélite. Es decir, depende de si nuestro satélite es de comunicaciones, meteorológico o de investigación científica; los elementos que compondrán la carga útil podrán ser transpondedores, antenas de comunicaciones, cámaras fotográficas o instrumentos científicos de medida.

2. INTRODUCCIÓN AL PROYECTO

Después de introducirnos un poco en el mundo de los satélites, vamos a hablar de nuestro proyecto, consiste en una Antena en Banda C para un satélite comercial de comunicaciones.

La misión de nuestra Antena es la de transmitir una portadora pura (Señal de Baliza), de poca potencia en la entrada, hacia la Tierra. Una señal de baliza sirve para localizar el satélite y obtener información (muy simple) sobre su estado. Esta Antena se utiliza para localizar el satélite desde tierra y que sea más fácil el apuntamiento de la antena de datos posteriormente.

Nuestro Proyecto está dividido siguiendo los pasos más importantes del programa real llevado a cabo sobre la Antena y que consta de los siguientes puntos:

- Diseño, hablaremos de las bases teóricas que sustenta nuestra Antena, los procesos de simulación y caracterización de los diferentes elementos que conforman la Antena y estudiaremos los valores obtenidos en la simulación para confirmar que cumplen con los requisitos de nuestro cliente.
- Procedimientos de Medida y Test Plan, una vez realizado un diseño satisfactorio y fabricada la Antena, debemos verificar su funcionamiento, para ello tenemos que realizar pruebas y medidas. En este punto, definiremos esas medidas y pruebas a realizar, cómo se realizan, en qué condiciones se hace y los equipos utilizados para ello.
- La Campaña de Ensayos, en este punto presentaremos y analizaremos los resultados obtenidos en las pruebas y ensayos realizados sobre la Antena.
- Finalmente, trataremos sobre las Conclusiones que hemos alcanzado en este proyecto y sobre los Trabajos Futuros y líneas de investigación a desarrollar en posteriores programas.

CAPÍTULO 2. DISEÑO

1. INTRODUCCIÓN

En este apartado procedemos al análisis desde el punto de vista eléctrico de los elementos principales que conforman nuestra Antena en Banda C.

Para el diseño de esta Antena hemos de tener en cuenta las siguientes necesidades:

- Un haz estrecho
- Un gran aislamiento entre los puertos de entrada
- Una buena XPD (Cross-Polar Discrimination)

Para conseguir nuestro objetivo, dividiremos la antena en los siguientes elementos:

- Bocina
- OMT (OrthoMode Transducer)
- Transiciones de Coaxial a Guía Onda
- Test Cap

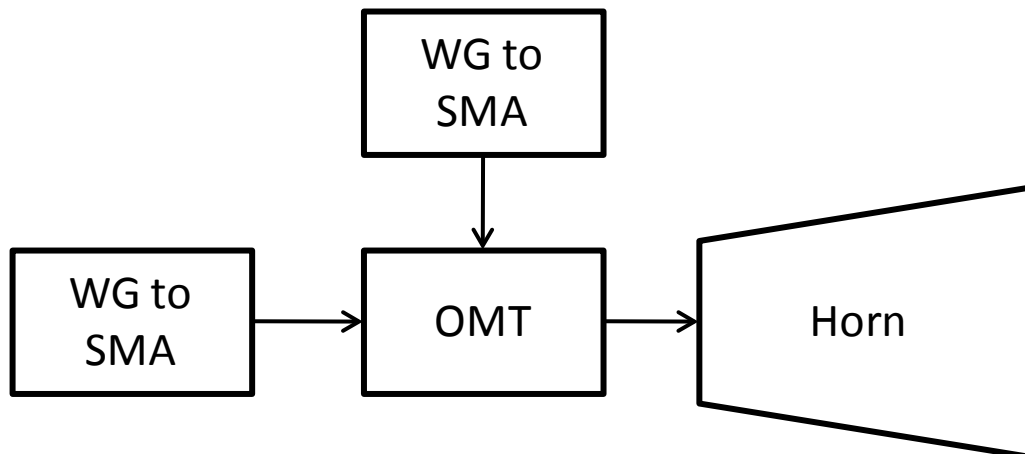


Figura 2.1.1.- Diagrama de bloques de la antena

2. CONDICIONES DE DISEÑO

Antes de empezar con el diseño de los elementos de nuestra antena debemos tener en cuenta detalles que influirán de manera importante en los parámetros de la misma.

Al tratarse de una antena para un satélite geoestacionario, ésta se verá afectada por cambios de temperatura debidos a su exposición al Sol (día) o a la sombra generada por la Tierra (noche), de igual manera que nos sucede a nosotros. Sin embargo, al estar fuera de la atmosfera, las variaciones térmicas derivadas de estos cambios de exposición son mucho más extremos, también influye de manera determinante la posición que ocupa el equipo en el satélite, no es lo mismo un equipo interno, que no esté expuesto, directamente al Sol, como los equipos exteriores, como es el caso de nuestra Antena. Las temperaturas a las que se someterá la Antena son:

$$T_{max\ protoflight} = +118^{\circ}C$$

$$T_{min\ protoflight} = -127^{\circ}C$$

Debido a estos cambios de temperatura, los materiales con los que está hecha nuestra Antena, principalmente aluminio, sufren cambios dimensionales que repercuten en los parámetros eléctricos de la misma. Para tener en cuenta este efecto, debemos tener presente que: la relación entre mantener la longitud de onda de nuestra señal y cambiar las dimensiones de nuestro equipo, es inversamente proporcional a mantener las dimensiones del dispositivo y cambiar la longitud de onda (frecuencia) de la señal. El efecto empírico es un desplazamiento de nuestra respuesta respecto de la frecuencia.

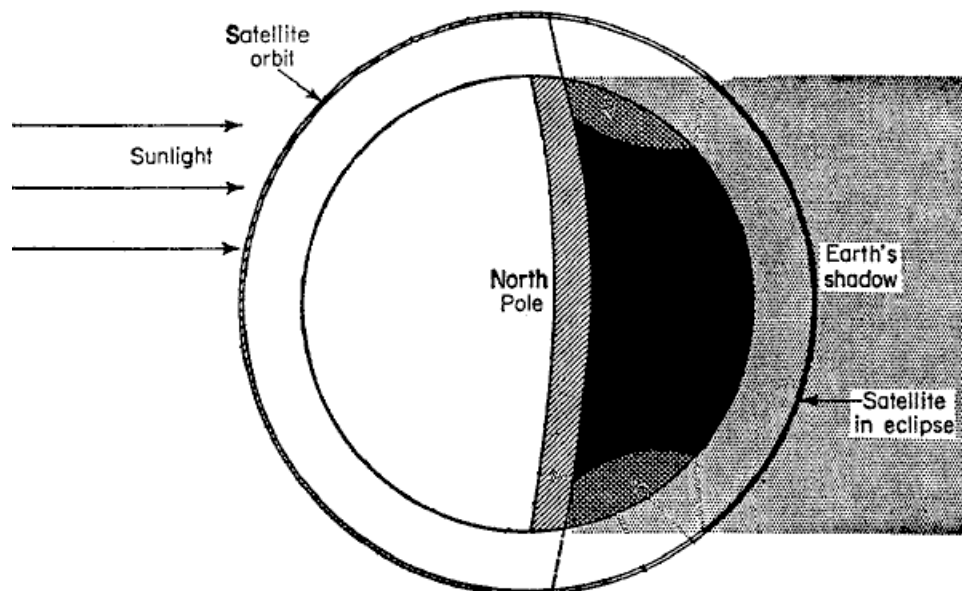


Figura 2.2.1. Diagrama del efecto noche/día de la órbita geoestacionaria

Por ello, las especificaciones se extienden, para cumplir con los requisitos en temperaturas extremas.

La fórmula para el cálculo del desplazamiento por temperatura viene dada por:

$$\text{Frequency shift (MHz)} = \text{Temperature excursion (deg)} * \text{Central Frequency (MHz)} * \text{Dilation Coefficient (ppm)} * 10^{-3}$$

En nuestro caso,

$$(-127^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}) * 4501 \text{ MHz} * 23 \text{ ppm} * 10^{-3} = 15.525 \text{ MHz} \sim 20 \text{ MHz}$$

El desplazamiento que obtenemos es de 15,5 MHz. Para asegurar el cumplimiento de los requisitos especificados, aumentamos el margen hasta el ± 20 MHz mencionado antes.

Entonces, las bandas de funcionamiento de la Antena extendidas son las siguientes:

	<i>Bandas TM</i>
<i>Bandas de Frecuencia</i>	<i>F1 3947 \pm 10 MHz</i> <i>F2 4500 \pm 10 MHz</i>
<i>Margen extendido por temperaturas extremas</i>	<i>± 20 MHz</i>
<i>Bandas de Frecuencia Extendidas</i>	<i>F1 3947 \pm 30 MHz</i> <i>F2 4500 \pm 30 MHz</i>

Tabla 2.2.1.- Banda de Operaciones

3. ANÁLISIS ELÉCTRICO DE LA BOCINA Y EL SUNSHIELD

3.1. Introducción

Debido al carácter de la señal que va a transmitir nuestra Antena, está debe tener una directividad y ganancia altas. Para cumplir con estos requisitos la mejor solución para nuestra Antena es una bocina.

La bocina tiene que ser cónica porque la cobertura es circular, es decir, la cobertura es la Tierra que tiene forma aproximadamente circular, aunque es un poco achatada. Las bocinas cónicas presentan diagramas circulares, por lo que es la mejor opción. Además, como nuestra Antena tiene dos polarizaciones lineales y ortogonales, nuestra bocina debe ser cónica para que no afecte de forma distinta a las dos polarizaciones.

Para entender bien el concepto de la bocina cónica, primero debemos empezar hablando de las antenas de apertura.

3.2. Aperturas

Las antenas de apertura son aquellas cuya estructura presenta superficies o aperturas, planas o curvas, que utilizan para conseguir un diagrama muy directivo.

El análisis básico de los diagramas de radiación se realiza a través del estudio de su distribución de corrientes por la estructura. Sin embargo, en las antenas de apertura, este análisis, resulta muy complicado de realizar debido a lo complejo que sería encontrar su distribución de corriente y la superficie de integración a causa de su compleja estructura.

En estos casos, consideramos que el diagrama de radiación depende de la distribución de campos en el frente de onda presente en la apertura de la antena. De esta manera, evitamos tener que calcular la distribución de corrientes en toda la estructura de nuestra antena y además, nos permite realizar la integración en una superficie más simple.

3.3. Campos radiados por aperturas

Consideramos la apertura como una región plana de superficie S_0 sobre la que consideramos que existen unos campos iluminantes \vec{E} y \vec{H} tal y como se indica en la figura 2.3.3.1, relacionados por la impedancia de onda Z_0 , y definidos por:

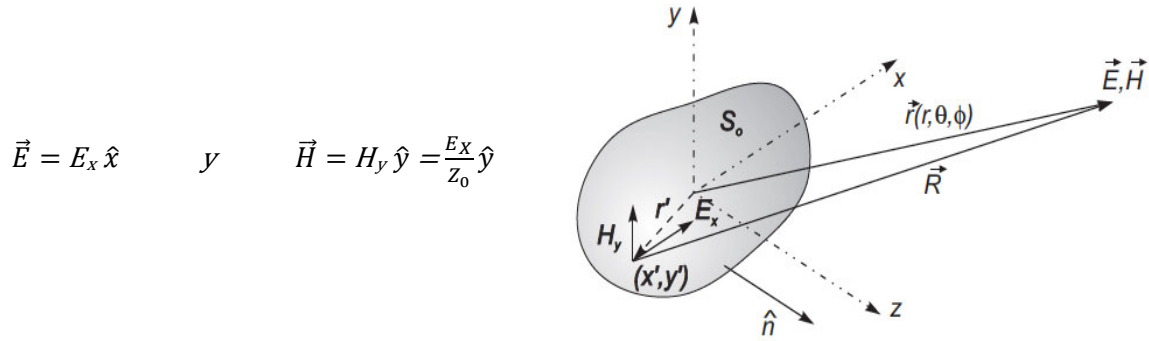


Figura 2.3.3.1.- Apertura en el plano $z=0$ [6]

Aplicando el teorema de equivalencia, el cual dice que la radiación producida para una estructura puede calcularse a partir de los campos eléctrico y magnético tangenciales en una superficie. Estos campos tangenciales se pueden sustituir por unas fuentes eléctricas y magnéticas [7]. Entonces a partir de estas fuentes podemos obtener las corrientes equivalentes que vienen dadas por,

$$\begin{aligned} \vec{J}_S &= \hat{n} \times \vec{H} = \hat{z} \times \hat{y} \frac{E_x}{Z_0} = -\frac{E_x}{Z_0} \hat{x} \\ \vec{M}_S &= -\hat{n} \times \vec{E} = -\hat{z} \times \hat{x} E_x = -E_x \hat{y} \end{aligned}$$

Los vectores de radiación son,

$$\begin{aligned} N_x &= \iint_{S_0} \left(-\frac{E_x}{Z_0} \right) e^{jk_x x'} e^{jk_y y'} dx' dy' \\ L_y &= \iint_{S_0} (-E_x) e^{jk_x x'} e^{jk_y y'} dx' dy' \end{aligned}$$

con $k_x = k \sin \theta \cos \phi$ y $k_y = k \sin \theta \sin \phi$. Sus componentes en coordenadas esféricas son,

$$\begin{aligned} N_\theta &= N_x \cos \theta \cos \phi, \quad N_\phi = -N_x \sin \phi \\ L_\theta &= L_y \cos \theta \sin \phi, \quad L_\phi = L_y \cos \phi \end{aligned}$$

que resultan en los campos de radiación,

$$E_{\theta} = -j \frac{e^{-jkr}}{2\lambda r} (\eta N_x \cos \theta + L_y) \cos \phi \quad E_{\phi} = j \frac{e^{-jkr}}{2\lambda r} (\eta N_x + L_y \cos \theta) \sin \phi$$

y en función del campo iluminante E_x ,

$$E_{\theta} = j \frac{e^{-jkr}}{2\lambda r} \left(1 + \frac{\eta}{Z_0} \cos \theta\right) \cos \phi \iint_{S_0} E_x e^{jk_x x'} e^{jk_y y'} dx' dy'$$

$$E_{\phi} = -j \frac{e^{-jkr}}{2\lambda r} \left(\frac{\eta}{Z_0} + \cos \theta\right) \sin \phi \iint_{S_0} E_x e^{jk_x x'} e^{jk_y y'} dx' dy'$$

De forma equivalente, obtendríamos para la polarización ortogonal,

$$\vec{E} = E_y \hat{y}, \quad \vec{H} = -\frac{E_y}{Z_0} \hat{x}$$

los campos de radiación,

$$E_{\theta} = j \frac{e^{-jkr}}{2\lambda r} \left(1 + \frac{\eta}{Z_0} \cos \theta\right) \sin \phi \iint_{S_0} E_y e^{jk_x x'} e^{jk_y y'} dx' dy'$$

$$E_{\phi} = -j \frac{e^{-jkr}}{2\lambda r} \left(\frac{\eta}{Z_0} + \cos \theta\right) \cos \phi \iint_{S_0} E_y e^{jk_x x'} e^{jk_y y'} dx' dy'$$

De la misma manera podemos calcular la directividad, resultando [6],

$$D = \frac{4\pi}{\lambda^2} \frac{1}{4} \frac{Z_0}{\eta} \left(\frac{\eta}{Z_0} + 1\right)^2 \frac{\left| \iint_{S_0} E_x(x', y') dx' dy' \right|^2 + \left| \iint_{S_0} E_y(x', y') dx' dy' \right|^2}{\iint_{S_0} (|E_x(x', y')|^2 + |E_y(x', y')|^2) dx' dy'}$$

3.3.1. Aperturas circulares

Dentro de los tipos de aperturas que existen, vamos a profundizar concretamente en las aperturas circulares ya que es este tipo la que nos interesa en nuestro proyecto. Si suponemos una apertura circular iluminada por una onda linealmente polarizada

$\vec{E} = E_x \hat{x}$ y $\vec{H} = \frac{E_x}{\eta} \hat{y}$, para la geometría representada en la figura 2.3.3.1.1,

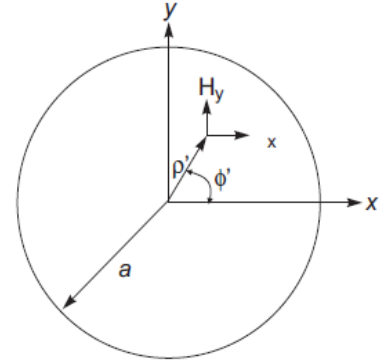


Figura 2.3.3.1.1.- Apertura circular

Se obtiene,

$$E_\theta = j \frac{e^{-jkr}}{2\lambda r} (1 + \cos\theta) \cos\phi \int_0^a \int_0^{2\pi} E_x e^{jk\rho' \sin\theta \cos(\phi - \phi')} \rho' d\phi' d\rho'$$

$$E_\phi = -j \frac{e^{-jkr}}{2\lambda r} (1 + \cos\theta) \sin\phi \int_0^a \int_0^{2\pi} E_x e^{jk\rho' \sin\theta \cos(\phi - \phi')} \rho' d\phi' d\rho'$$

$$K = \frac{1}{\eta\lambda^2} \left| \cos \frac{\theta}{2} \right|^4 \left| \int_0^a \int_0^{2\pi} E_x e^{jk\rho' \sin\theta \cos(\phi - \phi')} \rho' d\phi' d\rho' \right|^2$$

Si la distribución de campo es uniforme, es decir, $E_x = E_0$, y teniendo en cuenta las relaciones,

$$\int_0^{2\pi} e^{jz \cos x} dx = 2\pi J_0(z)$$

$$\int_0^z z' J_0(z') dz' = z J_1(z)$$

entonces se obtiene,

$$K = \frac{E_0^2}{\eta\lambda^2} 4\pi^2 a^4 \cos^4 \frac{\theta}{2} \left| \frac{J_1(k a \sin\theta)}{k a \sin\theta} \right|^2$$

Entonces, la Directividad de una apertura circular se puede calcular como [7],

$$D_0 = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{ef} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_f = \frac{4\pi}{\lambda^2} (\pi a^2) = \left(\frac{2\pi a}{\lambda}\right)^2 = \left(\frac{C}{\lambda}\right)^2$$

En este caso, suponemos que la Apertura Efectiva, A_{ef} , es igual a la Apertura Física, A_f , por tanto, podemos comprobar que la Directividad de una apertura circular sólo depende de la frecuencia y la Circunferencia (C), es decir, tamaño, de dicha apertura. Si como en nuestro caso, la apertura es iluminada con el modo dominante de la guía circular TE_{11} , cuyos campos referidos al sistema de coordenadas de la figura 2.3.3.1.1 son, [6]

$$E_\rho = \frac{A}{\rho'} J_1\left(\frac{q_{11}}{a} \rho'\right) \sin\phi'$$

$$E_\phi = A \frac{\partial}{\partial \rho'} \left[J_1\left(\frac{q_{11}}{a} \rho'\right) \right] \cos\phi'$$

donde $q_{11} = 1.84118$ es el primer cero de la derivada de la función de Besel de orden 1 ($J_1'(q_{11}) = 0$). Los campos en la apertura de la guía toman en cartesianas los valores,

$$E_x = A \frac{q_{11}}{2a} J_2\left(\frac{q_{11}}{a} \rho'\right) \sin 2\phi'$$

$$E_y = A \frac{q_{11}}{2a} \left[J_0\left(\frac{q_{11}}{a} \rho'\right) - J_2\left(\frac{q_{11}}{a} \rho'\right) \cos 2\phi' \right]$$

Si integramos estas expresiones, obtenemos los valores de campos radiados,

$$E_\theta = jAkaJ_1(q_{11}) \frac{e^{-jkr}}{r} \frac{1 + \cos\theta}{2} \frac{J_1(ka \sin\theta)}{ka \sin\theta} \sin\phi$$

$$E_\phi = jAkaJ_1(q_{11}) \frac{e^{-jkr}}{r} \frac{1 + \cos\theta}{2} \frac{J_1'(ka \sin\theta)}{1 - \left[\frac{ka \sin\theta}{q_{11}}\right]^2} \cos\phi$$

y su directividad sería [7],

$$D_0 = 0.836 \left(\frac{2\pi a}{\lambda}\right)^2 = 10.5\pi \left(\frac{a}{\lambda}\right)^2$$

En este otro caso, vemos que su directividad depende también sólo de la frecuencia y las dimensiones de la apertura.

3.4. Bocinas

El problema que tienen las antenas de apertura es que ofrecen directividades moderadas y además, presentan una desadaptación en la boca de la guía. Para mejorar su directividad y adaptación tenemos que aumentar sus dimensiones eléctricas, asegurando que la estructura siga siendo monomodo; para ello el agrandamiento debe hacer de manera gradual, hasta conseguir una bocina, a este proceso se le conoce como abocinamiento.

3.4.1. Bocinas cónicas

Las bocinas cónicas se consiguen abriendo las dimensiones de una guía circular. Debido al efecto de abocinamiento que hemos creado para obtener la bocina, se produce un error de fase.

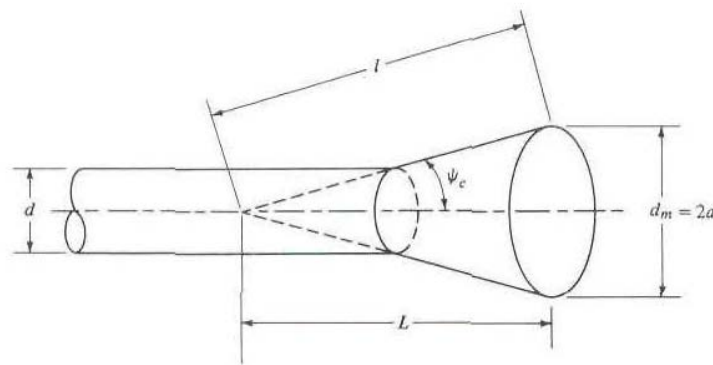


Figura 2.3.4.1.1.- Geometría de una bocina conica [7]

Si observamos la figura 2.3.4.1.1, podemos darnos cuenta que el error de fase se produce porque los campos no tienen el mismo recorrido, es decir, hay un desfase entre el camino central y los extremos, que está relacionado con la longitud de la bocina L y el ángulo de flare ψ_c , que es el ángulo que forma el eje longitudinal de la bocina y la pared de ésta.

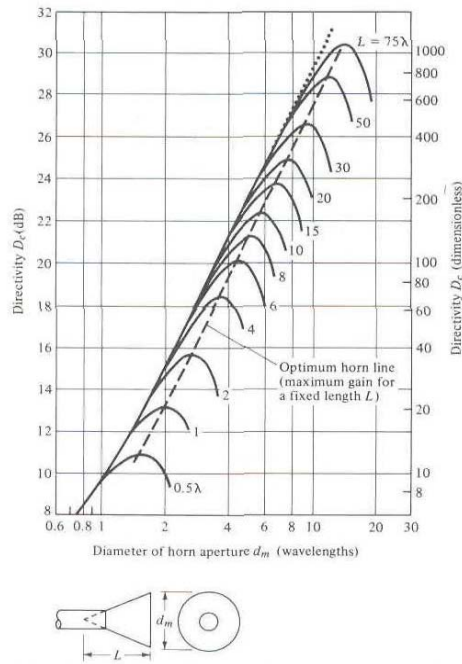


Figura 2.3.4.1.2.- Directividad en función del diametro de la apertura y la longitud de la bocina [7]

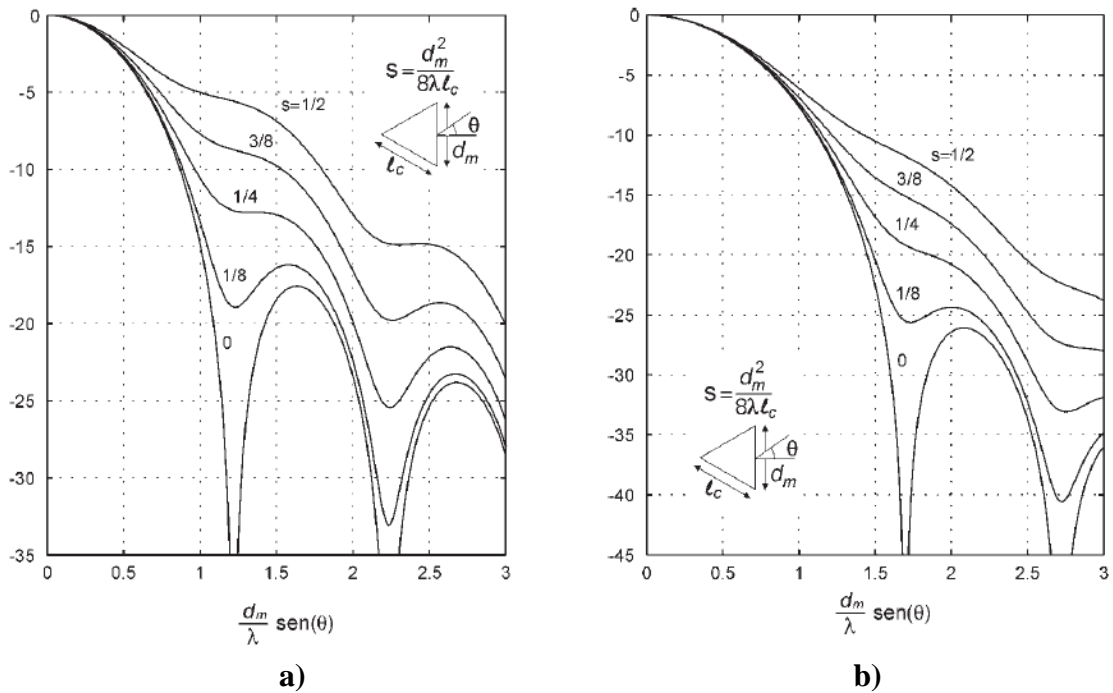


Figura 2.3.4.1.3.- Intensidad relativa de campo en plano E (a) y en el plano H (b) [6]

De las anteriores figuras podemos deducir que, cuando el diametro de la apertura se mantiene constante (d_m) y su longitud (L) se permite variar, el máximo de la directividad se obtiene cuando el ángulo de flare es cero ($\psi_c = 0$ or $L = \infty$). Esto equivale a una apertura circular de diametro d_m .

La directividad (en dB) de una bocina cónica, con una apertura efectiva A_{ef} y con una circunferencia en la apertura C , viene dada por, [7]

$$D_c(dB) = 10 \log_{10} \left[A_{ef} \frac{4\pi}{\lambda^2} (\pi a^2) \right] = 10 \log_{10} \left(\frac{C}{\lambda} \right)^2 - L(s)$$

donde a es el radio de la apertura y

$$L(s) = -10 \log_{10}(A_{ef})$$

El primer término de la fórmula ($10 \log_{10} \left(\frac{C}{\lambda} \right)^2$) representa la directividad de una apertura circular uniformemente iluminada, y el segundo término ($L(s)$), es un factor de corrección de las pérdidas debidas a la eficiencia de la apertura. Normalmente nos referimos a este factor como *factor de pérdidas* y podemos calcularlo como (en dB),

$$L(s) \simeq (0.8 - 1.71s + 26.25s^2 - 17.79s^3)$$

donde s es el máximo de la desviación de fase (en número de longitudes de onda) y viene dada por,

$$s = \frac{d_m^2}{8\lambda l}$$

La directividad de una bocina cónica es óptima cuando su diametro es igual a,

$$d_m \simeq \sqrt{3l\lambda}$$

que corresponde con un máximo de la desviación de fase de $s = 3/8$ (longitudes de onda) y un factor de pérdidas de unos 2.9dB (o una eficiencia en la apertura sobre el 51%).

3.4.2. Tipos de Bocinas Cónicas

Para elegir la bocina que vamos a diseñar para nuestra antena debemos tener en cuenta varios factores, como son, el cumplimiento de los requisitos del cliente, tanto en los parámetros eléctricos como en aspectos mecánicos, tamaño, peso, etc.; y en complejidad del diseño y del proceso de fabricación, que repercutirán en el precio del proyecto y por tanto en la viabilidad del mismo.

Las principales bocinas cónicas son el Potter o Single Flared (escalón), la Dual Flared y la Bocina Corrugada.

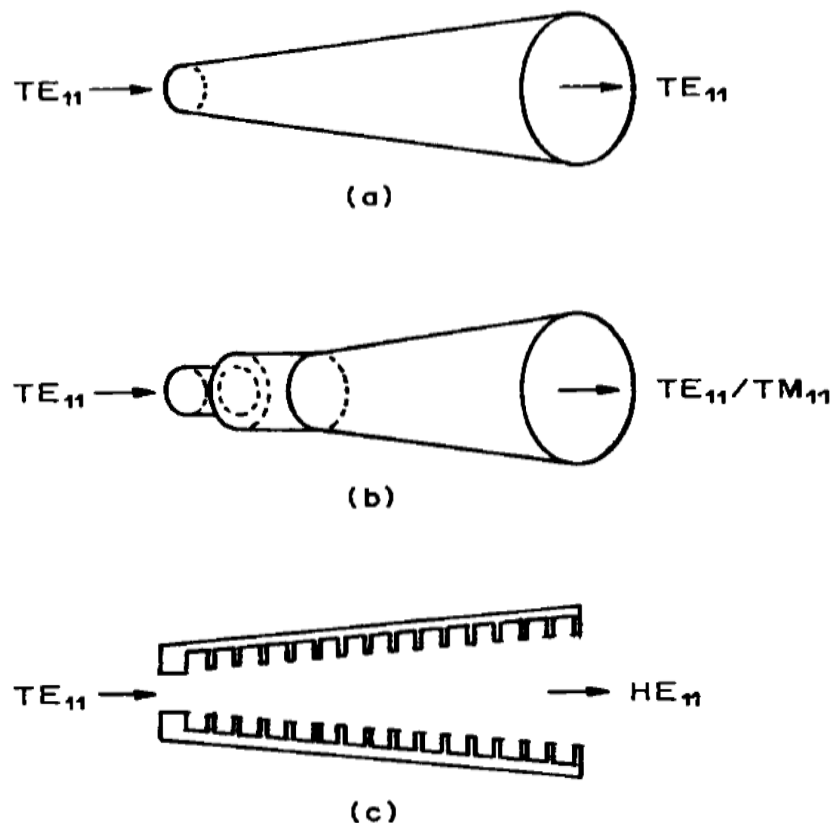


Figura 2.3.4.2.1.- Principales Bocinas Cónicas. (a) Potter o Single Flared. (b) Dual Flared. (c) Bocina Corrugada [8]

3.4.2.1 Potter o Single Flared

Una bocina Single Flared consta de una sola sección flare para adaptar las pérdidas y excitar los modos para el diagrama de radiación.

Es la más sencilla de fabricar pero al disponer de solo una sección de flare para adecuar su funcionamiento, limita en demasía los parámetros eléctricos que se pueden conseguir con esta configuración. Es muy complicado que con este tipo de bocina se cumplan los requisitos especificados por el cliente para este proyecto.

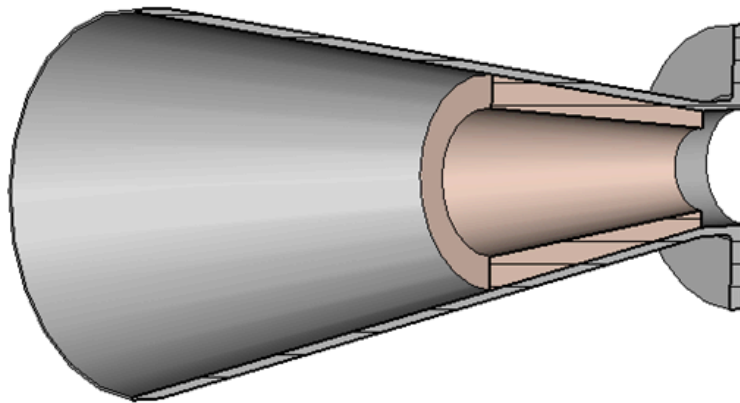


Figura 2.3.4.2.1.1.- Potter o Single Flared

Esto es debido a que el modo que transmite esta bocina es el modo circular fundamental TE_{11} , si comprobamos la figura 2.3.4.2.1.2, podremos observar que las líneas de campo en los extremos tienden a curvarse. Debido a este fenómeno, el campo radiado tendrá una componente en la dirección de polarización correcta (copolar) y otra en la polarización cruzada (contrapolar), que hará empeorar la relación de XPD.

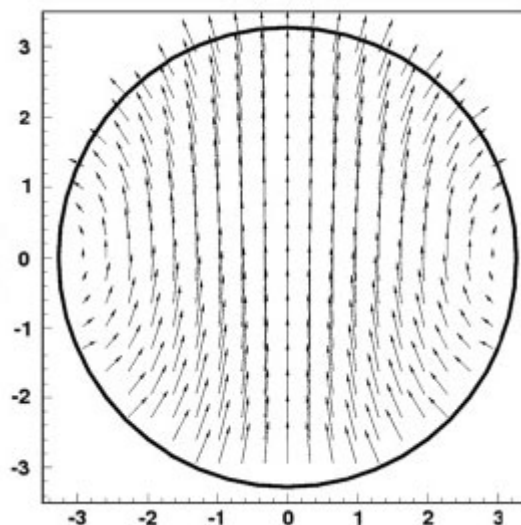


Figura 2.3.4.2.1.2.- Campos en la apertura de modo TE_{11}

3.4.2.2 Bocina Corrugada

Es la más compleja y por tanto la que mejor resultados eléctricos ofrece, hay muchos más parámetros de ajuste que se pueden modificar y por tanto más margen para hacer funcionar la antena adecuadamente. Sin embargo, debido a este motivo, también lleva más tiempo de diseño y tiene un mayor coste de fabricación, es decir, demasiado cara para que sea viable.

Como se puede observar en la figura 2.3.4.2.2.1, las paredes de la bocina no son lisas, si no que están llenas de corrugaciones. Estas corrugaciones tienen el efecto de modificar la distribución de campos, convirtiendo la distribución uniforme original en una cosenoidal.

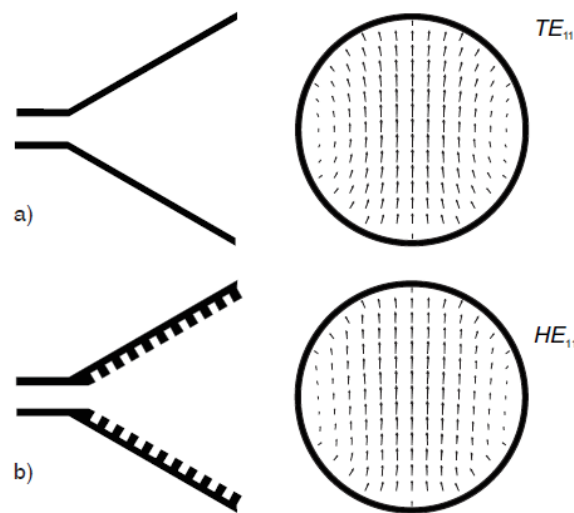


Figura 2.3.4.2.2.1.- Campos en la apertura de las bocinas cónicas: a) lisas y b) corrugadas

Las corrugaciones de las paredes consiguen convertir el modo TE_{11} en un modo híbrido dominante conocido como HE_{11} . Como se puede observar en la figura 2.3.4.2.2.1, el campo del modo HE_{11} tiene mayor nivel de pureza de polarización que el modo TE_{11} , con lo que conseguiremos mejores niveles de XPD.

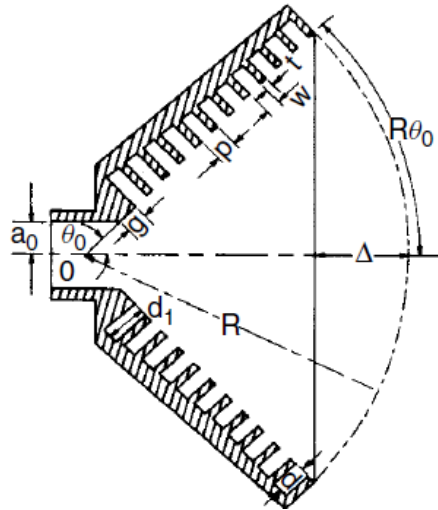


Figura 2.3.4.2.2.2 Geometría de una bocina cónica corrugada [9]

En la figura 2.3.4.2.2.2 podemos observar la cantidad de parámetros que se pueden modificar en el diseño de una bocina corrugada, variando el número de corrugaciones, la anchura, la distancia entre ellas, etc. podemos modificar los campos en la apertura y conseguir mejores resultados.

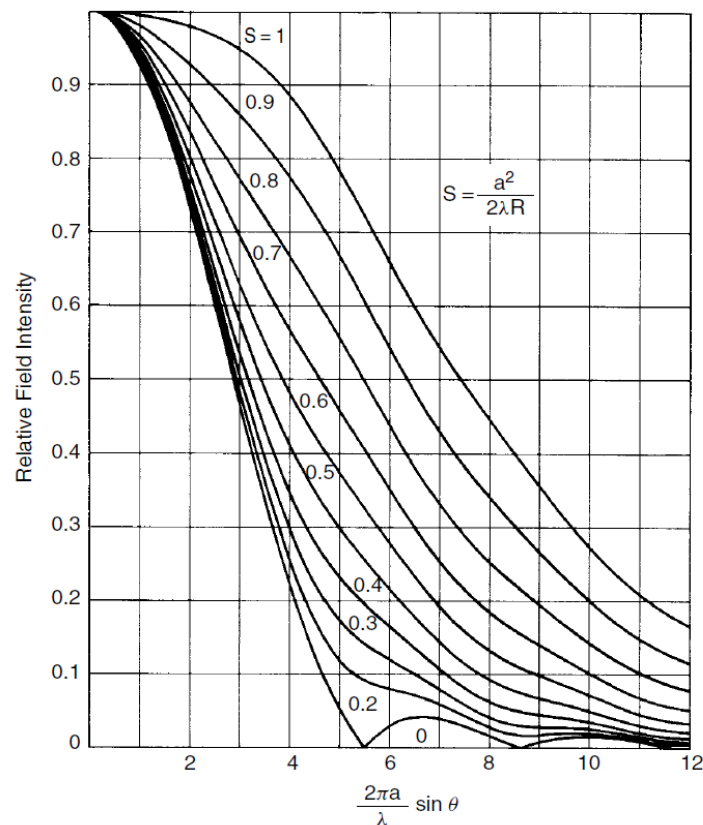


Figura 2.3.4.2.2.3 Intensidad relativa de campo del modo HE_{11} de una bocina cónica corrugada [9]

Sin embargo, a pesar de ser una de las mejores soluciones técnicas, como ya hemos comentado, los costes de diseño y fabricación, hacen esta opción inviable para nuestro proyecto.



Figura 2.3.4.2.2.4 Fotografía de una Bocina Corrugada

3.4.2.3 Dual Flared o Multimodal

Para poder realizar un proyecto que cumpla con los requisitos del cliente y que sea viable económicamente hay que llegar a un equilibrio entre todos los factores que determinaran el coste del proyecto, no podemos realizar una antena barata y que no cumpla con los requisitos, pero tampoco realizar una bocina que tenga mucho margen pero que sea demasiado cara. Por ello, la mejor solución es un paso intermedio que nos permita realizar una antena que cumpla con los requisitos del cliente y los más económica posible.

Una posible solución entre las Potter y las Corrugadas son las Bocinas Dual Flare o Multimodal. Estas bocinas funcionan con la combinación óptima de modos para que el campo a la salida tenga un alto nivel de pureza de polarización.

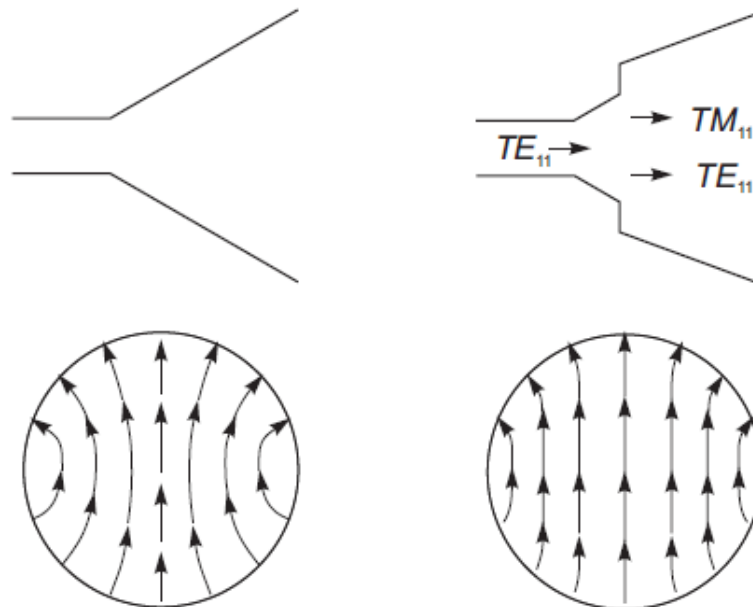


Figura 2.3.4.2.3.1.- Combinación de Modos [6]

En nuestro caso, observando la figura 2.3.4.2.3.1 podemos comprobar que la combinación de modos es del modo fundamental de la guía circular TE_{11} y el modo TM_{11} . Haremos un análisis más detallado un poco más adelante.

3.5. Análisis de nuestra Bocina

El objetivo de este apartado es justificar la elección de la bocina de esta antena. Para conseguir este objetivo, todos los requisitos concernientes a la bocina se estudiarán por separado para asegurar el correcto funcionamiento.

Algunos de los requerimientos de la antena se tratarán de nuevo en otras partes del equipo, así como otros no se estudiarán en este apartado por no afectar al diseño de la bocina.

La bocina elegida para nuestra antena es una dual flared con un sunshiled de kapton-germanio.

Para el diseño de nuestra bocina, se han tenido en cuenta los siguientes requisitos:

Banda de Frecuencias

Las frecuencias de funcionamiento de nuestra antena son las siguientes:

$$\begin{aligned}F1 &\simeq 3947 \text{ MHz} \\F2 &\simeq 4500 \text{ MHz}\end{aligned}$$

Ambas frecuencias disponen de un Ancho de Banda de ± 10 MHz centrado en dichas frecuencias, que tiene que ser extendido como hemos visto anteriormente para cumplir con las especificaciones en temperaturas extremas.

El elemento radiante de nuestra antena es una bocina multiflared y de doble modo que consiste en una guía-onda circular de entrada que permite la propagación del modo dominante TE_{11} y que está al corte para modos de orden superior, y dos secciones de escalones separadas por otra sección circular (mode converter section) que permite la combinación óptima de los dos modos en la apertura de la bocina.

Como hemos visto, a la entrada de nuestra bocina, tenemos una guía circular por la que se transmite el modo circular fundamental TE_{11} . Si observamos la figura 2.3.5.1 y como hemos visto anteriormente en las bocinas Potter; podemos ver las líneas de campo de dicho modo, y comprobamos que en los extremos, las líneas tienden a curvarse.

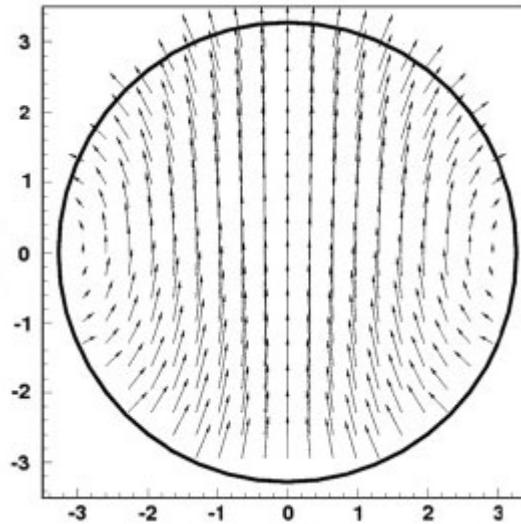


Figura 2.3.5.1.- Líneas de Campo del Modo TE_{11}

Las líneas de campo curvadas las podemos descomponer en dos componentes, una vertical y otra horizontal.

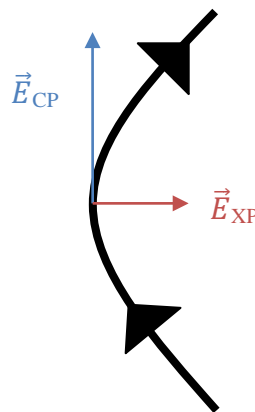


Figura 2.3.5.2.- Descomposición de línea de Campo

La componente vertical, \vec{E}_{CP} , contribuye a nuestra polarización, es decir, a la señal copolar (CP). Sin embargo, la componente horizontal, \vec{E}_{XP} , tiene una dirección perpendicular a la de nuestra polarización, por la que contribuye a la señal contrapolar (XP).

Como ya hemos visto anteriormente, uno de los principales requisitos de nuestro cliente, es que tengamos una buena XPD (Cross-Polar Discrimination), es decir, que la diferencia entre la señal copolar y la contrapolar sea alta.

Para conseguir eliminar la componente horizontal tanto como sea posible, se utiliza la combinación de modos en la bocina. Al excitar un modo que tenga una componente horizontal opuesta a la del modo TE_{11} , disminuiríamos la contribución de esta a la señal contrapolar. Por excitar dos modos de manera intencionada, se conoce a esta antena como Dual Mode.

Observando los modos que se transmiten por una guía circular, comprobamos que el modo TM_{11} es apropiado para nuestros intereses. Podemos ver las líneas de campo del modo TM_{11} en la figura 2.3.5.3.

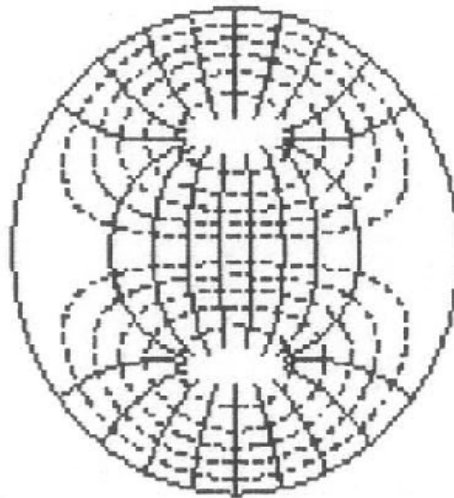


Figura 2.3.5.3.- Líneas de Campo del Modo TM_{11}

La combinación de estos dos modos da como resultado una distribución de campos con mayor pureza de polarización.

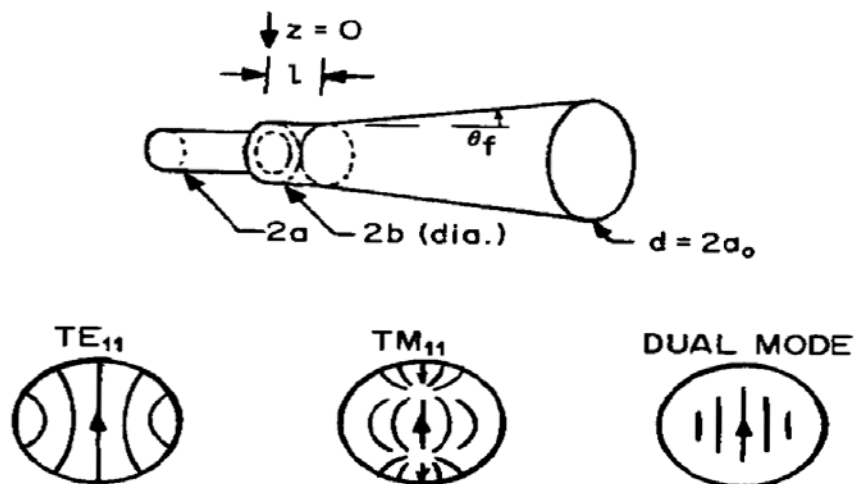


Figura 2.3.5.4.- Geometría de una Dual Flare y combinación de modos [8]

El modo TM_{11} es excitado en la discontinuidad entre el primer escalón y la sección cilíndrica. El modo TM_{01} y el TE_{21} no son excitados debido a la simetría axial. Por ello, el diagrama de radiación muestra una buena simetría axial a lo largo del eje Z.

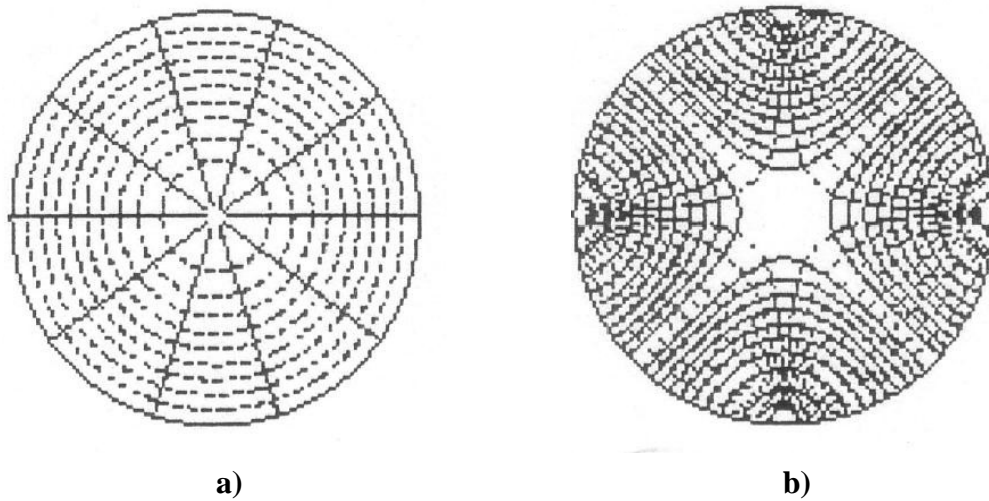


Figura 2.3.5.5.- Líneas de Campo de los Modos TM_{11} (a) y TE_{21} (b)

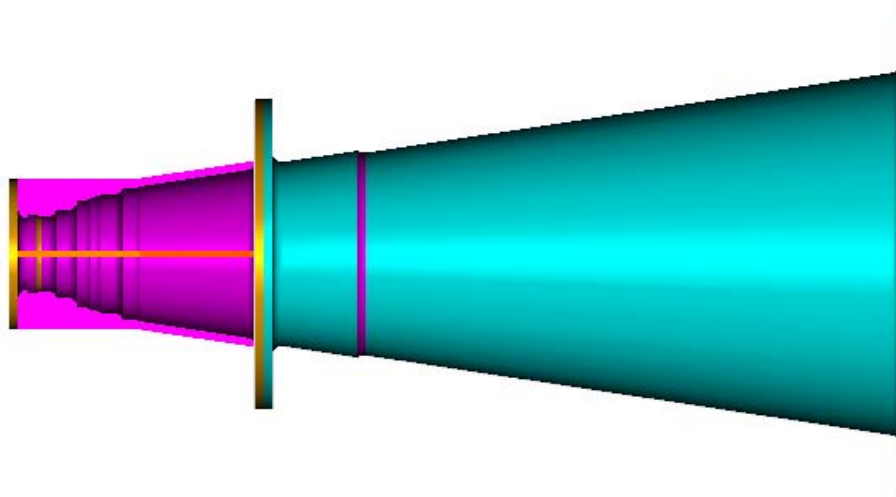


Figura 2.3.5.6.- Imagen 3D de la Bocina

Como ya hemos visto anteriormente, la forma del diagrama de radiación depende principalmente del diámetro de la apertura, el ángulo del escalón y la distribución de los campos en la apertura.

3.6. Efecto del SunShield

El SunShield fabricado en kapton-germanio se coloca en la apertura de la bocina por razones térmicas, esto es, reduce los efectos térmicos de la radiación solar. El efecto de este elemento en el diagrama de radiación es prácticamente despreciable. Sin embargo, el efecto que provoca en la medida de ROE sí debe tenerse en cuenta, pues es posible que empeore la medida, para minimizar su efecto, debe aumentarse el margen de la ROE.

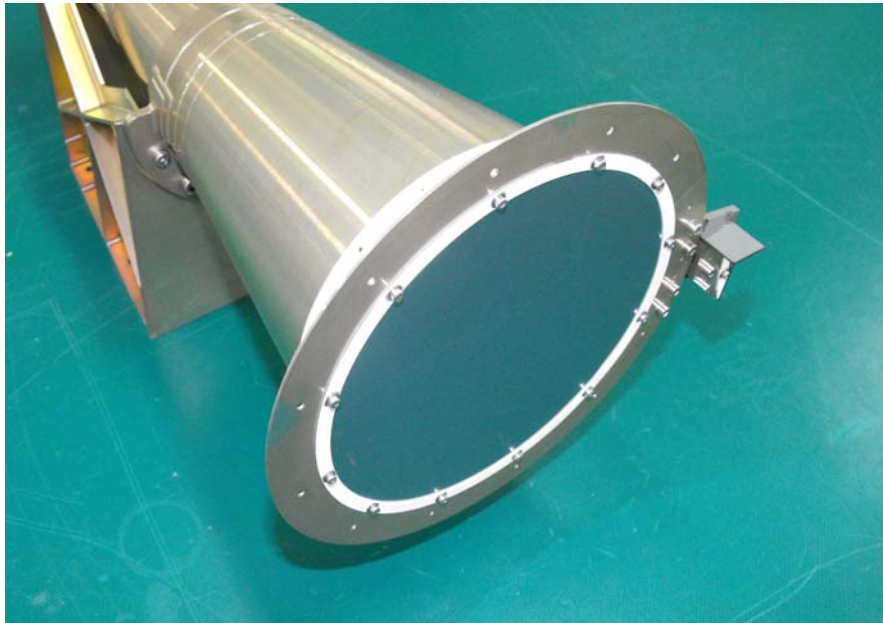


Figura 2.3.6.1.- Bocina con SunShield protegiendo la apertura

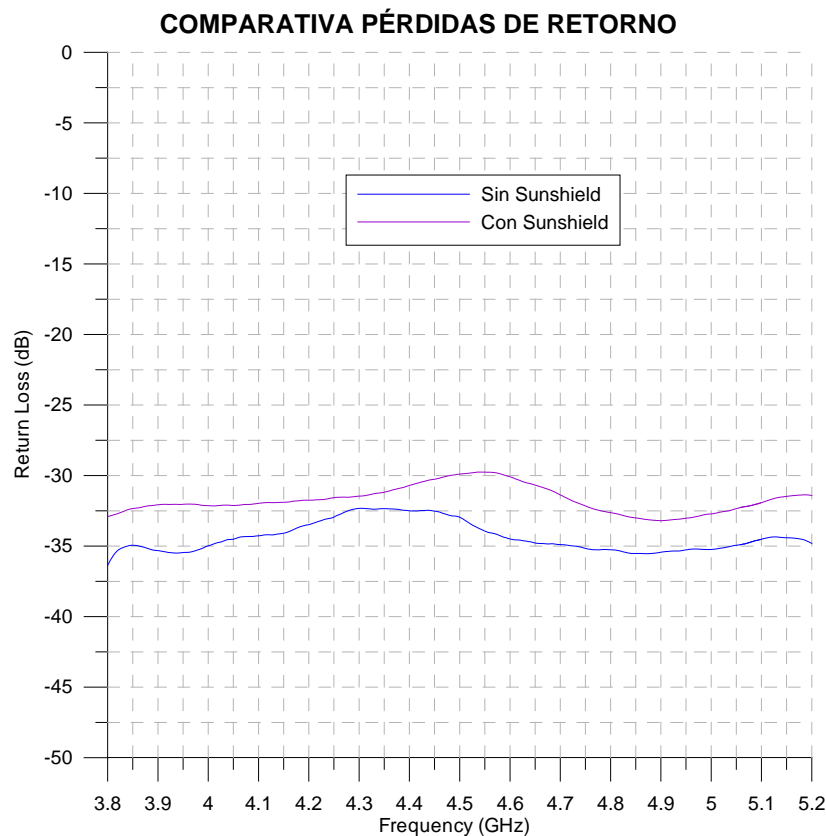


Figura 2.3.6.2.- Ejemplo de variaciones en las Pérdidas de Retorno por el SunShield

En la gráfica anterior podemos ver las variaciones que sufren las Pérdidas de Retorno de una antena genérica de banda C, cuando medimos sin SunShield y el efecto que tiene en nuestra ROE cuando lo colocamos sobre la apertura de la bocina. Se puede observar perfectamente el empeoramiento de la señal debido al SunShield, es por ello, como hemos dicho anteriormente, muy importante trabajar con margen suficiente a la hora de diseñar, para que cuando se coloque el SunShield real sobre nuestro equipo, este siga cumpliendo con los requisitos de nuestro cliente.

3.7. Resultados del Análisis

3.7.1. Coeficiente de Onda Estacionaria (ROE) y Pérdidas de Retorno

El Coeficiente de Onda Estacionaria debe ser menor de 1.2:1, por lo que las Pérdidas de Retorno deben ser menores a 20.83 dB. Cuando se trate de este parámetro normalmente siempre nos estaremos refiriendo a Pérdidas de Retorno.

Gracias al programa comercial de simulación CHAMP y un gestor gráfico, las Pérdidas de Retorno de nuestra bocina pueden ser analizadas por simulación. Introduciendo el modo fundamental como señal de entrada podemos simular las Pérdidas de Retorno de nuestra bocina y las comparamos con los valores especificados por el cliente con el fin de saber si nuestro equipo cumple con ellos.

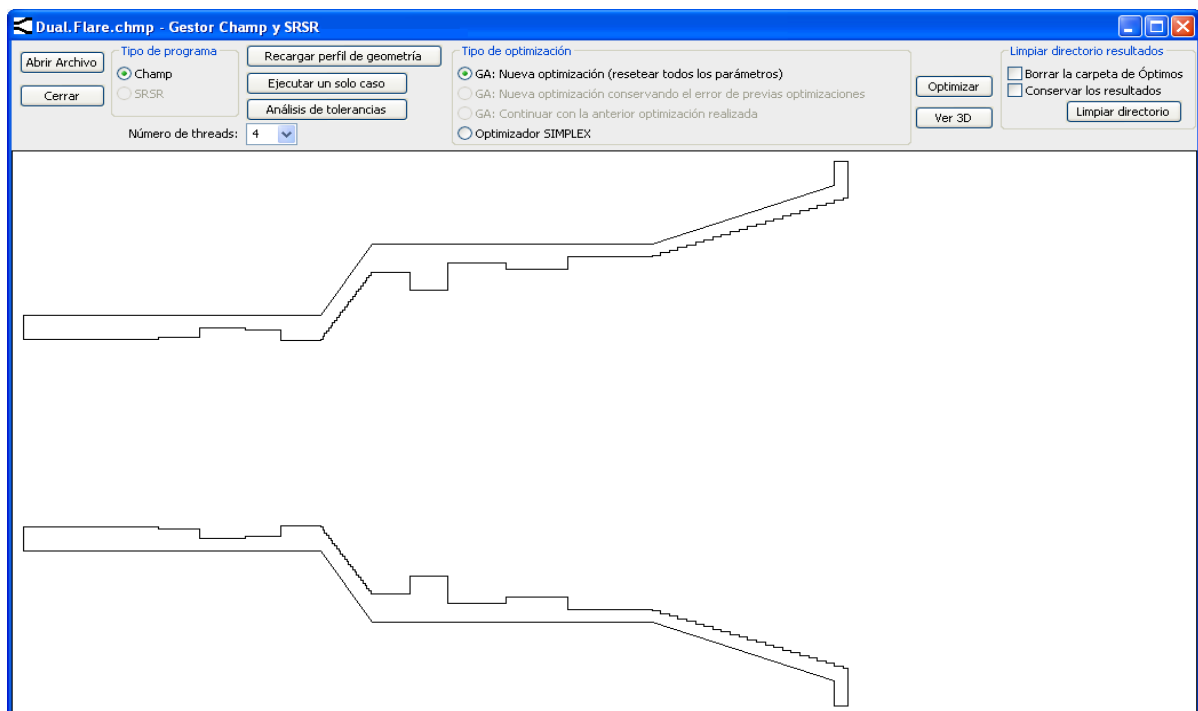


Figura 2.3.7.1.1.- Captura del Gestor de Champ


```

*****A partir de aquí se ponen las variables de cada geometría*****
! dependen del ejecutable, así que conviene mirar la imagen de la geometría y rellenar en función del ejemplo que haya
! Hay dos tipos de variables:
! Tipo de variable 1: no se optimiza: se pone el tipo y el valor. Ejemplo: 1, 1,1
! Tipo de variable 2: si se optimiza, se pone el tipo, el valor que se quiere ejecutar cuando es sólo 1 ejecución, el valor menor del rango, el valor mayor del rango y el
[COMIENZO_VARIABLES]
[VAR_nFlares] ! Número flares de la bocina
1, 1.0000
[VAR_numCorrFase] ! Número de corrugacions de cada fase
1, 1.0000
[VAR_a] ! Diámetro de las corrugaciones
1, 1.0000
2, 1.0000
3, 1.0000
4, 1.0000
5, 1.0000
6, 1.0000
7, 1.0000
8, 1.0000
9, 1.0000
10, 1.0000
[VAR_l] ! Longitud de las corrugaciones
1, 1.0000
2, 1.0000
3, 1.0000
4, 1.0000
5, 1.0000
6, 1.0000
7, 1.0000
8, 1.0000
9, 1.0000
10, 1.0000
[VAR_angFlare] ! Angulo de cada flare
1, 1.0000
2, 1.0000
[VAR_diametroApertura] ! Diámetro de la apertura del horn
1, 1.0000
[VAR_longExtensionFlange] ! rFlange=VAR_diametroApertura+2*VAR_longExtensionFlange
1, 1.0000
[VAR_FlangeEspesor] ! espesor de la brida del flange
1, 1.0000
[FIN_VARIABLES]
[FIN]

```

Figura 2.3.7.1.2.- Ejemplo de líneas de comando de Champ

Además de los valores de Pérdidas de Retorno, el programa de simulación CHAMP nos proporciona los ficheros con los valores de los diagramas de radiación y la ganancia simulada de nuestra bocina.

En el caso de nuestra bocina los resultados de Pérdidas de Retorno obtenidas por simulación son los siguientes:

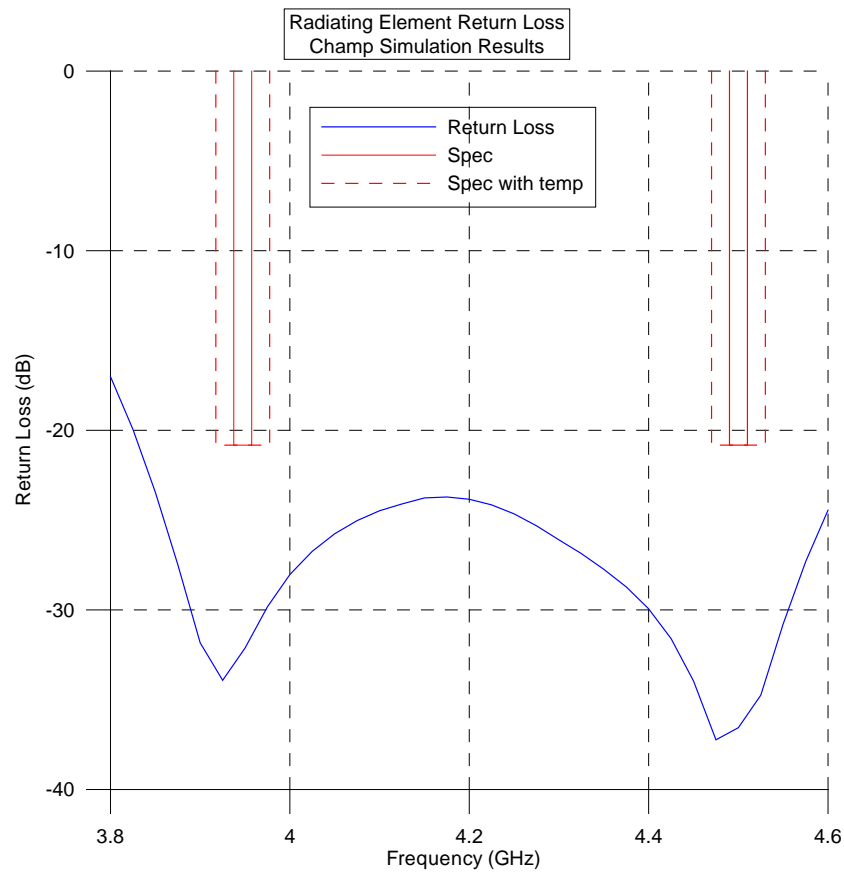


Figura 2.3.7.1.3 Pérdidas de Retorno de la Bocina

Como podemos observar en la simulación de las Pérdidas de Retorno de la bocina se confirma que ésta cumple perfectamente con los requisitos.

3.7.2. Diagrama de Radiación y Ganancia de la Antena

En la siguiente tabla se muestran los requisitos de ganancia de nuestra antena

	GANANCIA DE LA ANTENA
Pico de Ganancia	$\leq 17.0 \text{ dBi}$
Ganancia mínima en la cobertura	$> 14.0 \text{ dBi}$

Tabla 2.3.7.2.1.- Especificaciones de Ganancia

Para simular de forma más precisa la ganancia de nuestra bocina en el programa CHAMP hemos de tener en cuenta las pérdidas de los diferentes elementos que forman nuestra antena, así como, las incertidumbres y errores propios de la propia antena y las medidas.

Pérdidas Óhmicas de la Antena (dB)	
<i>Pérdidas en la transición WG-Coax.</i>	<i>0.1 dB</i>
<i>Pérdidas OMT</i>	<i>0.05 dB</i>
<i>Pérdidas elemento radiante</i>	<i>0.1 dB</i>
<i>Mismatching</i>	<i>0.04 dB</i>
Total Pérdidas Óhmicas (suma lineal)	<i>0.29 dB</i>
<i>Incertidumbres de la Medida (dB)</i>	<i>0.3dB (Error de Medida)</i>
<i>Desalineamiento</i>	<i>0.1 dB</i>
Total Incertidumbres (suma lineal)	<i>0.4 dB</i>
Pérdidas Totales = Óhmicas + Incertidumbres (suma lineal)	<i>0.69 dB</i>

Tabla 2.3.7.2.2.- Pérdidas estimadas e incertidumbres

Con estos valores, la ganancia de nuestra antena obtenida en la simulación es de 15,1 dB para la frecuencia 1, y de 16,4 dB para la frecuencia 2 y los diagramas quedan como se muestra a continuación en las figuras 2.3.7.2.1 para la frecuencia F1 y la figura 2.3.7.2.2 para la frecuencia F2.

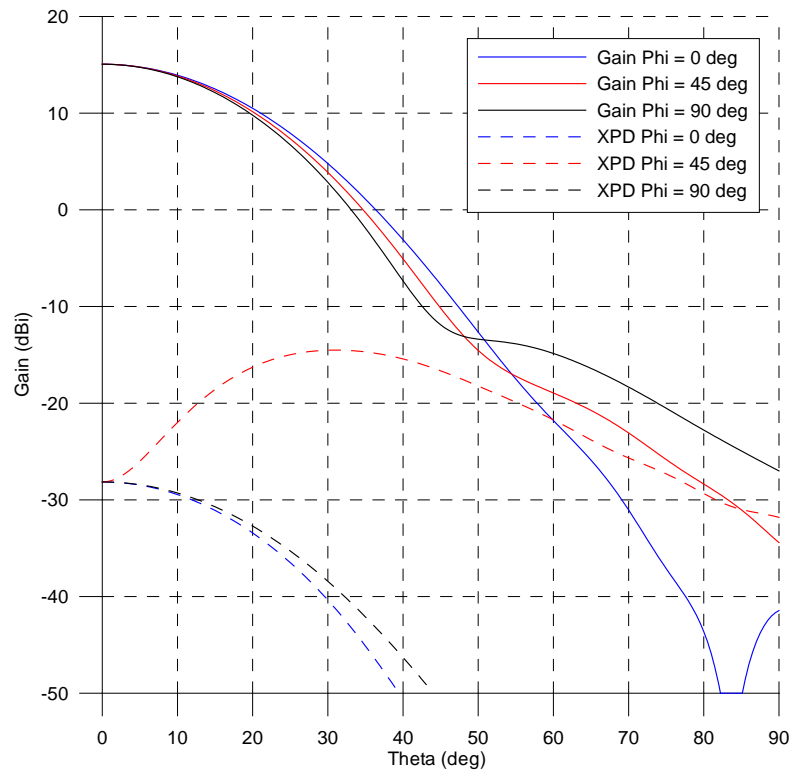


Figura 2.3.7.2.1.- Diagrama de radiación F1

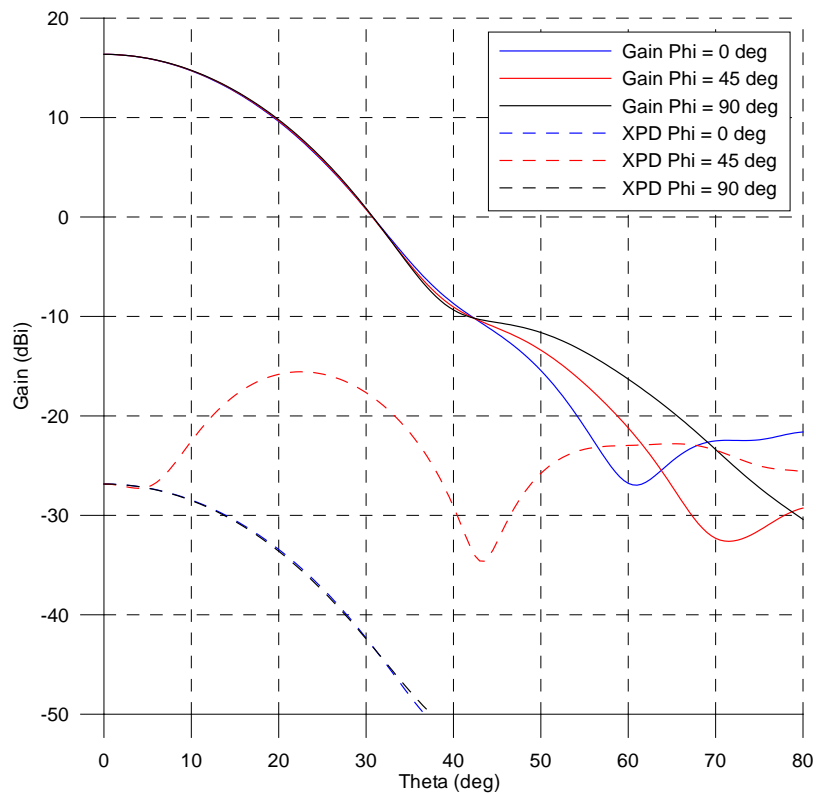


Figura 2.3.7.2.2.- Diagrama de radiación F2

3.7.3. Pendiente de la Ganancia

La pendiente de la ganancia de nuestra antena para la cobertura especificada debe ser menor a 1.0 dB/grado.

Los valores de este parámetro se obtienen del post-procesado de los datos de ganancia obtenidos anteriormente. Con este parámetro comprobamos que la ganancia no varía de manera considerable en nuestra cobertura y que se mantiene lo más constante posible.

Podemos observar los resultados en la siguiente figura:

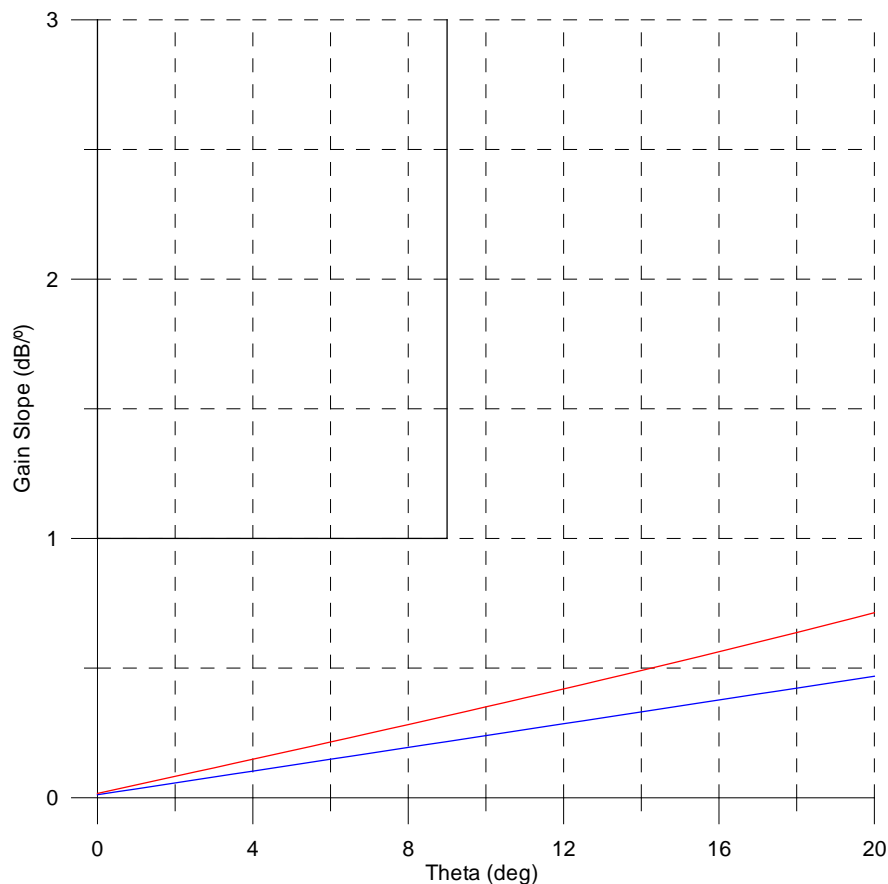


Figura 2.3.7.3.1.- Gain Slope

De la que obtenemos los peores valores para nuestra cobertura:

<i>Frecuencias</i>	<i>Especificación (dB/°)</i>	<i>Valor (dB/°)</i>
<i>F1</i>	<i>1.0 dB/°</i>	<i>0.48</i>
<i>F2</i>		<i>0.65</i>

Tabla 2.3.7.3.1.- Valores de Gain Slope

3.7.4. Estabilidad de la Ganancia

Este parámetro hace referencia a la variación en la ganancia de nuestra antena que puede sufrir debido a los cambios de temperatura que sufrirá ésta en la órbita.

La variación de la ganancia en cualquier punto de nuestra cobertura no puede exceder los 0,2 dBpp para variaciones de 15 grados Centígrados dentro del rango de temperaturas de operación a lo largo de la vida útil de nuestra antena.

Nuestra bocina es un elemento pasivo cuyas medidas sólo varían con los cambios de temperatura. Estos cambios de temperatura producen el efecto de un desplazamiento en frecuencia en la respuesta de nuestra antena. Como 15 grados producen un desplazamiento insignificante de la frecuencia, la estabilidad de la ganancia de nuestra antena está garantizada.

3.7.5. Diagramas de Contorno

Los diagramas de Contorno representan los diferentes niveles de ganancia de nuestra bocina sobre la superficie de la Tierra.

A fin de ser más precisos a la hora de simular el funcionamiento de la bocina, tendremos en cuenta el valor de Axial Ratio del OMT. De acuerdo con las simulaciones obtenidas para el OMT, que veremos posteriormente, el valor de Axial Ratio de éste es de 0.12 dB.

Para obtener los Diagramas de Contorno de la Ganancia y de la XPD se ha utilizado el software comercial de Procesamiento Grasp y el Post-Processor de Grasp. Estos diagramas se obtienen procesando los valores de ganancia obtenidos en la simulación.

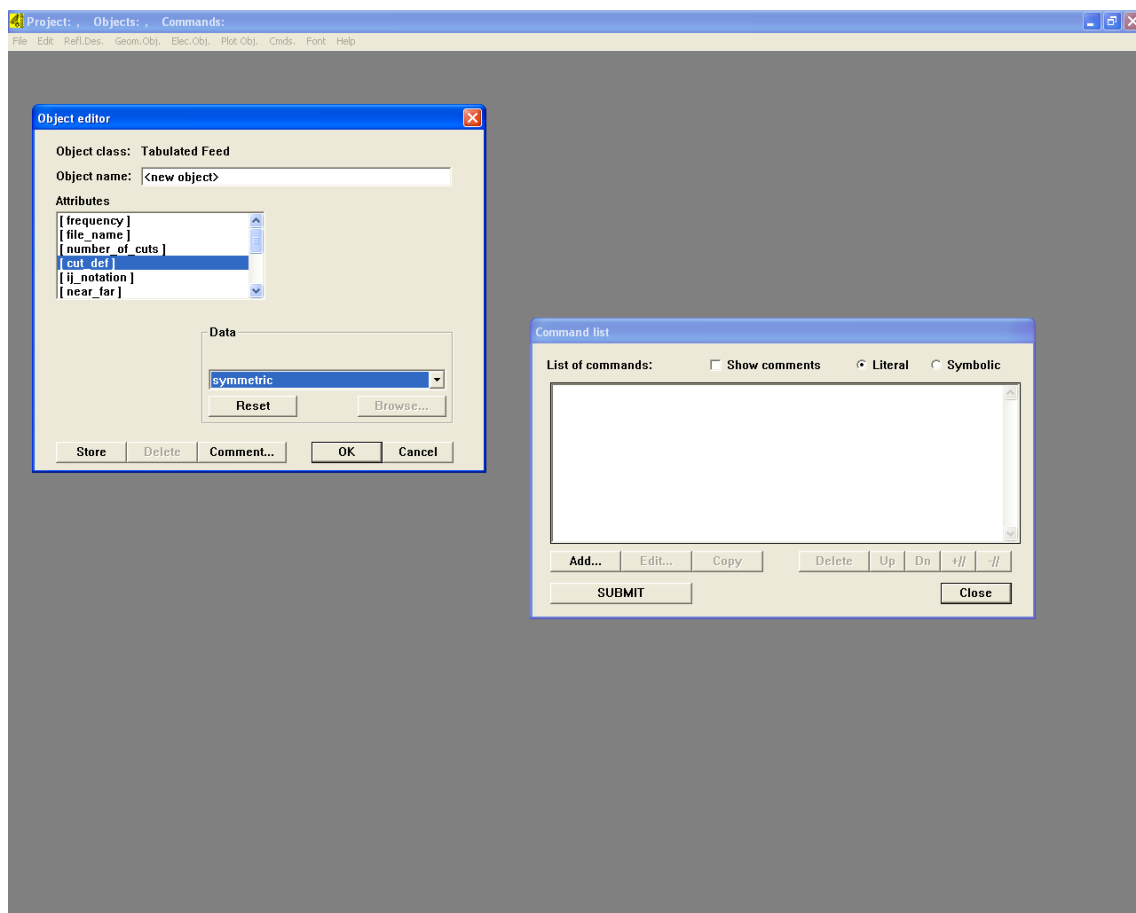


Figura 2.3.7.5.1.- Captura del Grasp

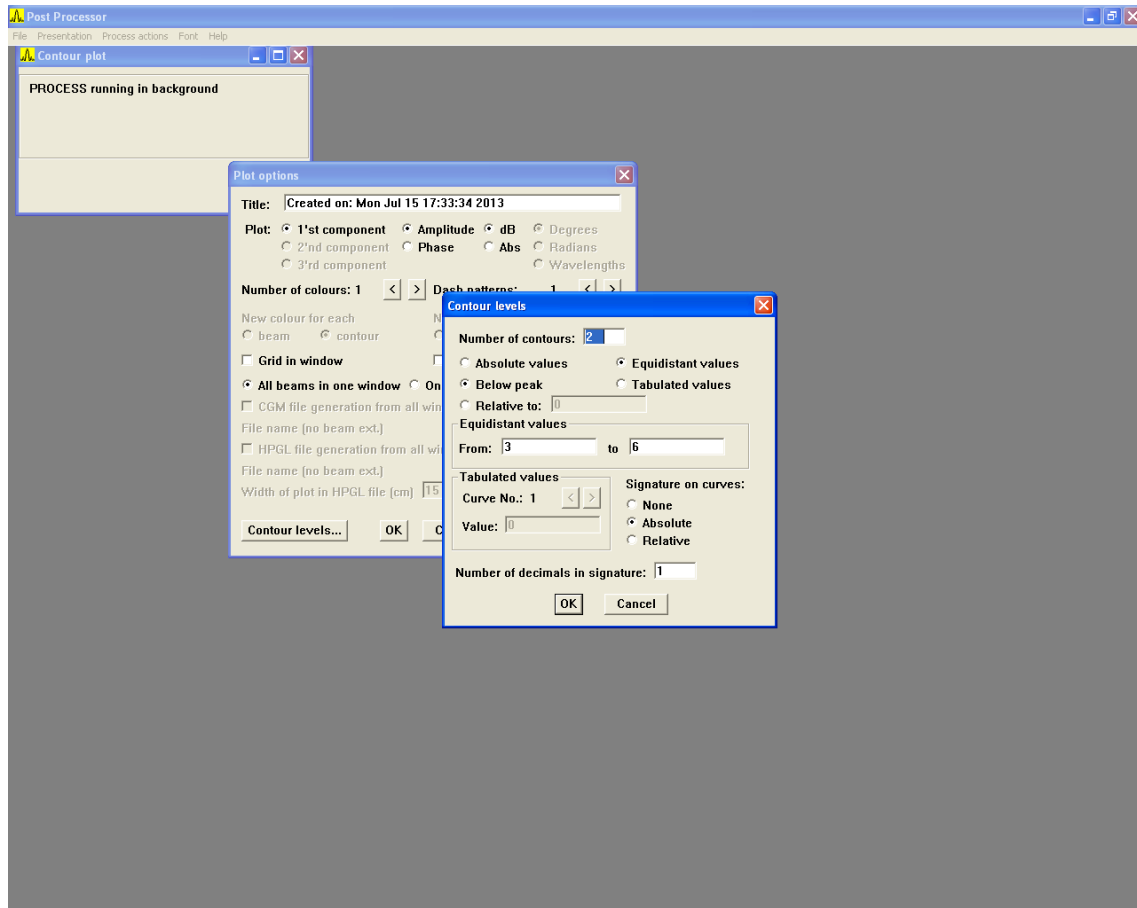


Figura 2.3.7.5.2.- Captura del Postprocessor

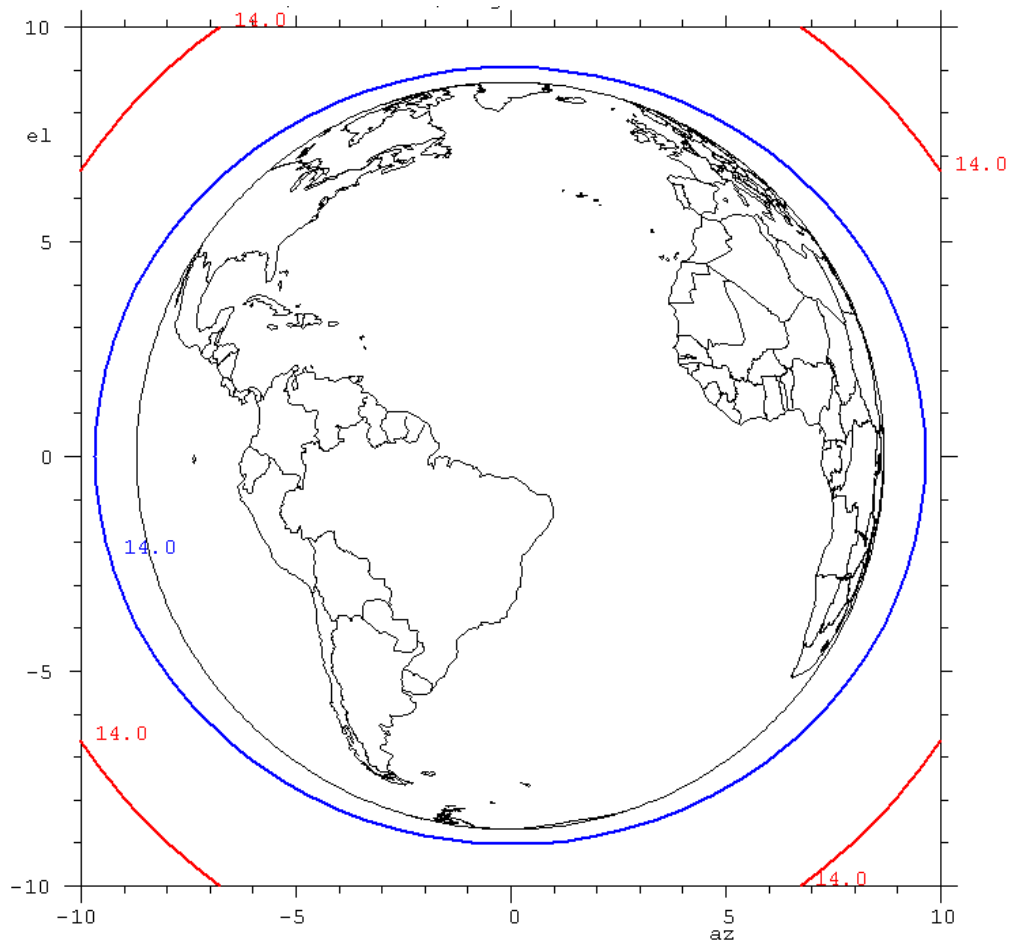


Figura 2.3.7.5.3.- Diagrama de Contorno de la Ganancia

En el caso de nuestra bocina podemos observar en la figura 2.3.7.5.3, el diagrama de contorno para una ganancia de 14 dBi, en azul para la frecuencia F1 y en rojo para la frecuencia F2. Al tratarse de una antena de cobertura global podemos ver que con el nivel de ganancia señalado cubrimos toda la superficie de la Tierra.

3.7.6. Polarización

La polarización X debe de estar girada 45° de la Horizontal o la Vertical $\pm 2^\circ$ con respecto al plano ecuatorial (es decir, 45° respecto al plano XY de acuerdo al plano de referencia del satélite) para el puerto BC1. La polarización Y debe ser ortogonal a la polarización X para el puerto BC2.

La bocina debe tener polarización lineal y tener una Cross-Polarization Discrimination (XPD) mejor de 36.9 dB en la cobertura especificada.

Para conseguir la polarización lineal ortogonal utilizaremos el OMT de que hablaremos más detalladamente en un punto posterior.

Definida la geometría de la bocina es posible obtener, mediante la simulación informática, los valores de copolar y contrapolar radiados para cada frecuencia y cada corte Phi.

Debido a que la XPD disminuye con el incremento de Theta, los valores tenidos en cuenta para el diseño son aquellos que representan los peores valores de la cobertura (Theta máxima) para cada frecuencia.

El ángulo de Theta máximo de nuestra cobertura corresponde al ángulo requerido para obtener una cobertura global desde una órbita geoestacionaria, siendo, aproximadamente, de 8,6 grados.

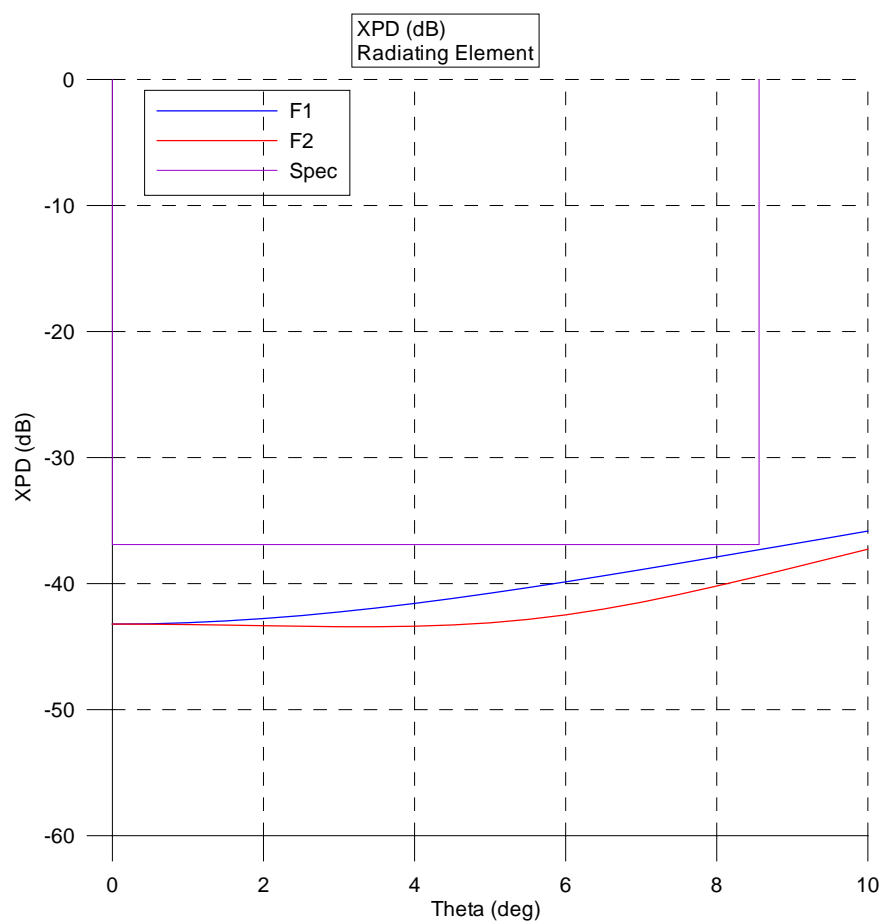


Figura 2.3.7.6.1.- CrossPolar Discrimination (XPD) a las dos frecuencias de funcionamiento (F1 y F2)

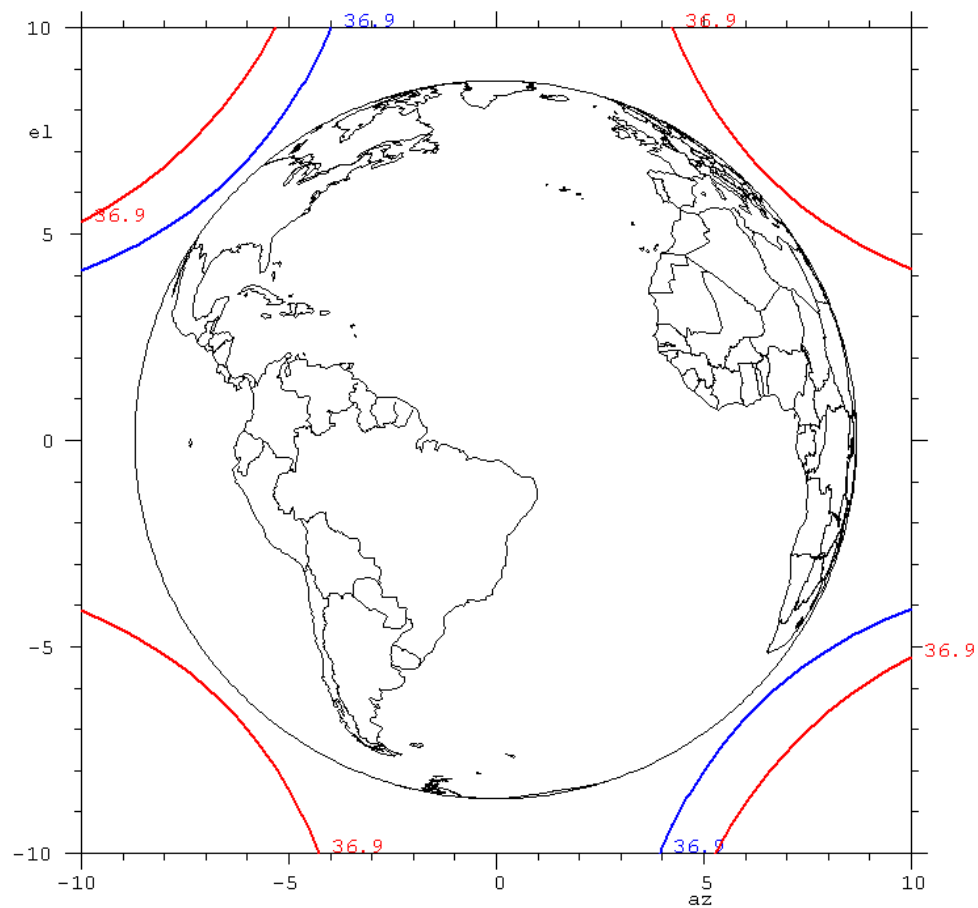


Figura 2.3.7.6.2.- Contour plot de CrossPolar Discrimination (XPD) a las dos frecuencias de funcionamiento (F1 y F2)

3.7.7. Ganancia Fuera de Banda

Este parámetro es importante para saber las posibles interferencias que podría recibir nuestra antena con consecuencias impredecibles para nuestro sistema. O en caso contrario, que señales parasitas debidas al set-up del satélite podrían ser emitidas por nuestra antena y que podrían causar interferencias en las demás antenas o en los equipos más sensibles a radiaciones.

Solo las frecuencias que se encuentran por encima de la frecuencia de corte de la bocina son estudiadas. En la simulación, sólo el elemento radiante es analizado.

<i>Banda de Frecuencias (GHz)</i>	<i>Ganancia(dBi)</i>
<i>5.850 a 7.025 GHz</i>	<i><17.5</i>
<i>10.950 a 12.700 GHz</i>	<i><22</i>
<i>13.750 a 14.500 GHz</i>	<i><18.5</i>
<i>17.300 a 17.800 GHz</i>	<i><21.5</i>

Tabla 2.3.7.7.1.- Ganancia fuera de Banda

4. OMT (ORTHOMODE TRANSDUCER)

El OMT es el elemento que va a permitir que nuestra Antena tenga las polarizaciones lineales ortogonales requeridas por el cliente y además disponga de un gran Aislamiento entre Puertos de entrada.

4.1. Diseño del OMT

El OMT es eléctricamente un dispositivo con cuatro puertos que físicamente solo dispone de tres. De esta manera hay un solo puerto de salida que es común a las dos entradas, de este modo conseguimos una salida con dos modos ortogonales independientes: TE_{10} y TE_{01} .

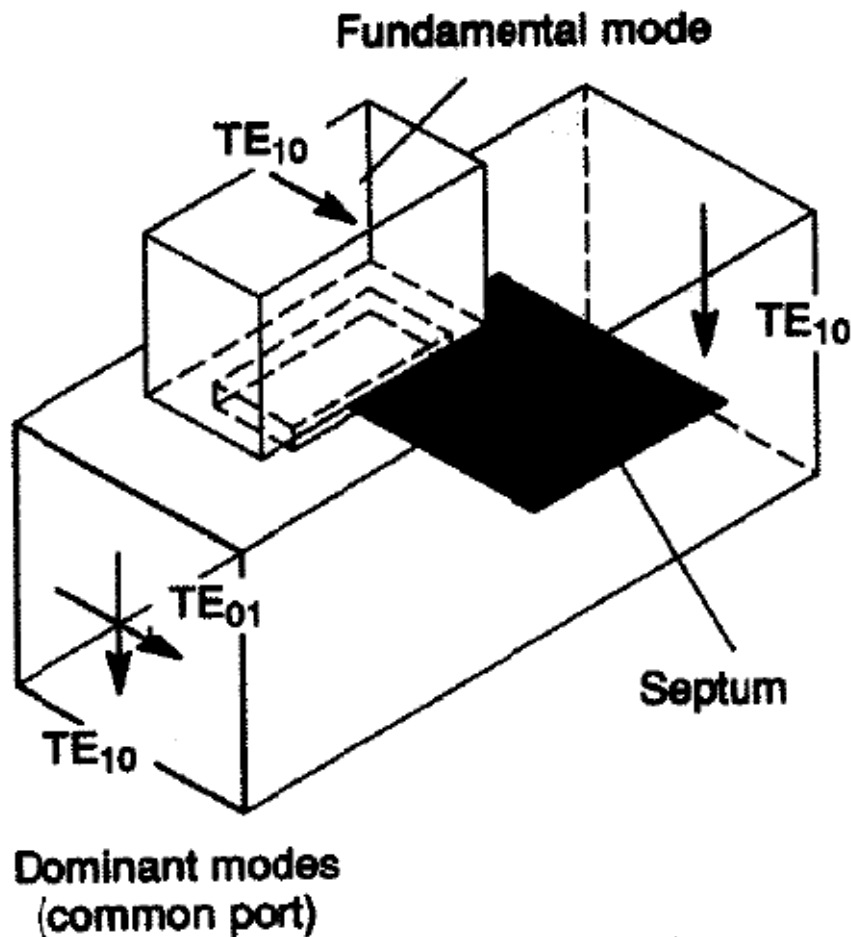


Figura 2.4.1.1.- Diagrama general de un OMT [10]

Cada uno de los puertos de entrada del OMT son estándares y rectangulares, cuyo modo de propagación fundamental es el TE_{10} . La polarización Vertical la conseguimos con el puerto directo, cuando la onda que se propaga por la guía encuentra el septum perpendicular, se divide en dos partes y se vuelven a unir cuando termina de atravesar el

septum. Es muy importante que el septum sea lo más delgado posible para evitar que haya demasiadas pérdidas.

Sin embargo, para la polarización Horizontal, usamos el puerto lateral del OMT, cuando la onda que se propaga por este puerto alcanza el septum en paralelo, es como un cortocircuito que le impide seguir propagándose, de esta manera, el campo, se ve obligado a acoplarse a la guía de salida.

Finalmente, para conseguir la polarización especificada por el cliente, la polarización X debe de estar girada 45° de la Horizontal o la Vertical $\pm 2^\circ$ con respecto al plano ecuatorial para el puerto BC1. La polarización Y debe ser ortogonal a la polarización X para el puerto BC2; rotamos el OMT 45° respecto al plano horizontal de la antenna para que la señal de nuestra antenna tenga las polarizaciones deseadas.

Para el diseño del OMT se ha usado el programa comercial MICIAN. En la siguiente figura se muestra una simulación del dispositivo.

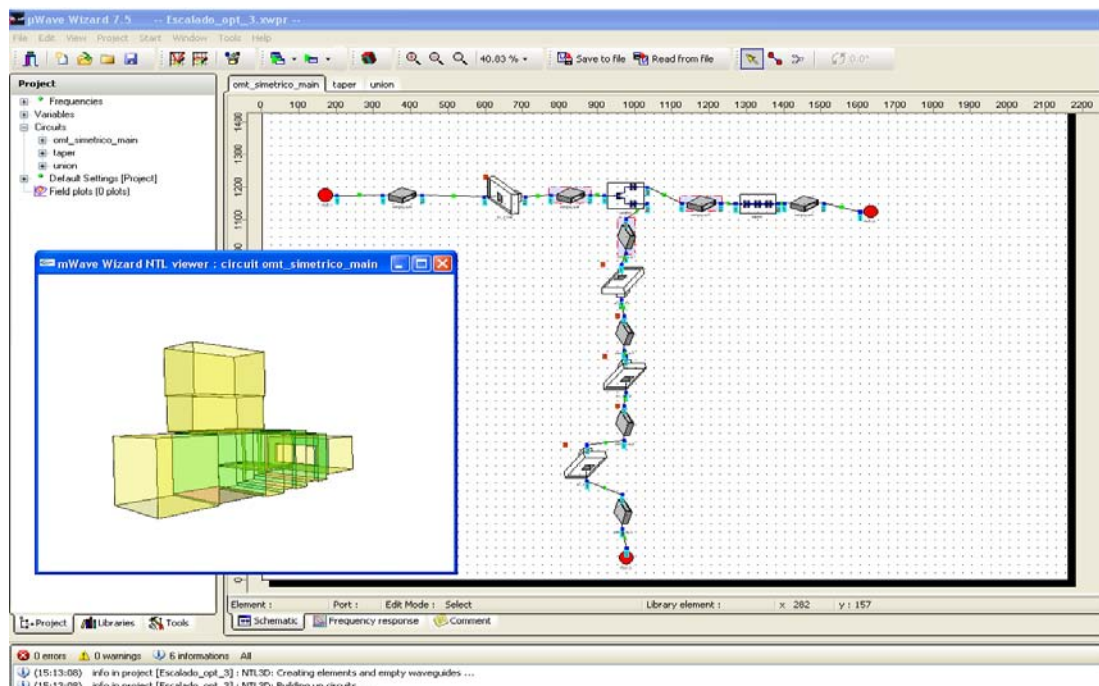


Figura 2.4.1.2.- Captura de la simulación del OMT en MICIAN

4.2. Resultados del OMT

Los resultados obtenidos en las simulaciones son representados en las siguientes figuras. El desplazamiento en frecuencia debido a las temperaturas extremas, está incluido en los templates.

Los parámetros eléctricos que caracterizaran el OMT son los siguientes, para hallar estos parámetros se ha utilizado el programa comercial de simulación HFSS.

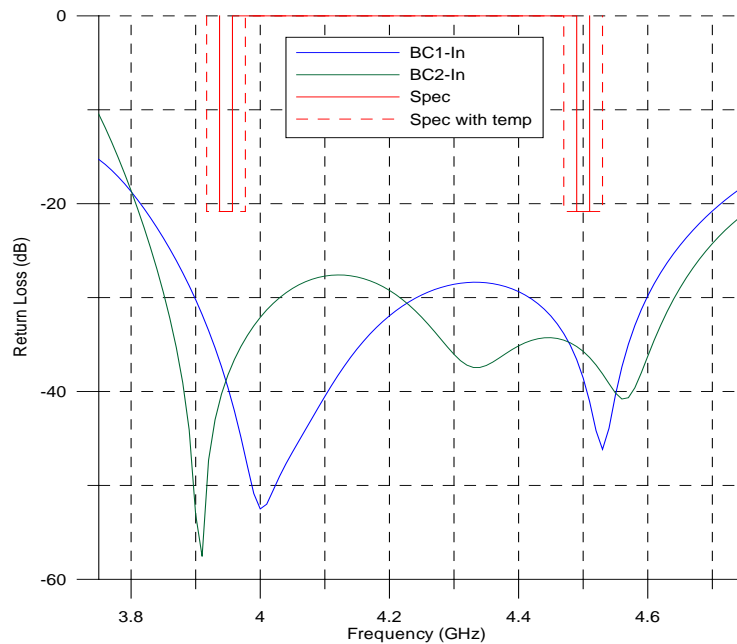


Figura 2.4.2.1.- Pérdidas de Retorno del OMT

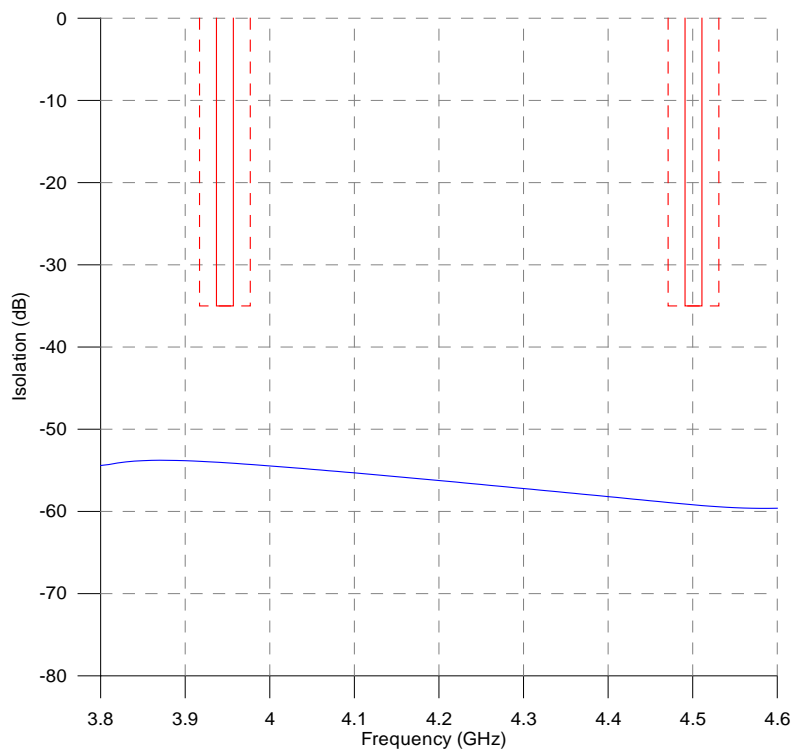


Figura 2.4.2.2.- Aislamiento entre Puertos del OMT

Podemos comprobar cómo el diseño de nuestro OMT cumple con las especificaciones de Pérdidas de Retorno y Aislamiento entre Puertos requeridos por el cliente de manera amplia, lo que nos permitirá asegurar que cuando el OMT real sea medido, tengamos suficiente margen, ya que durante la fabricación, debido a que los elementos ya no son perfectos, suele perderse algo de nivel respecto al diseño.

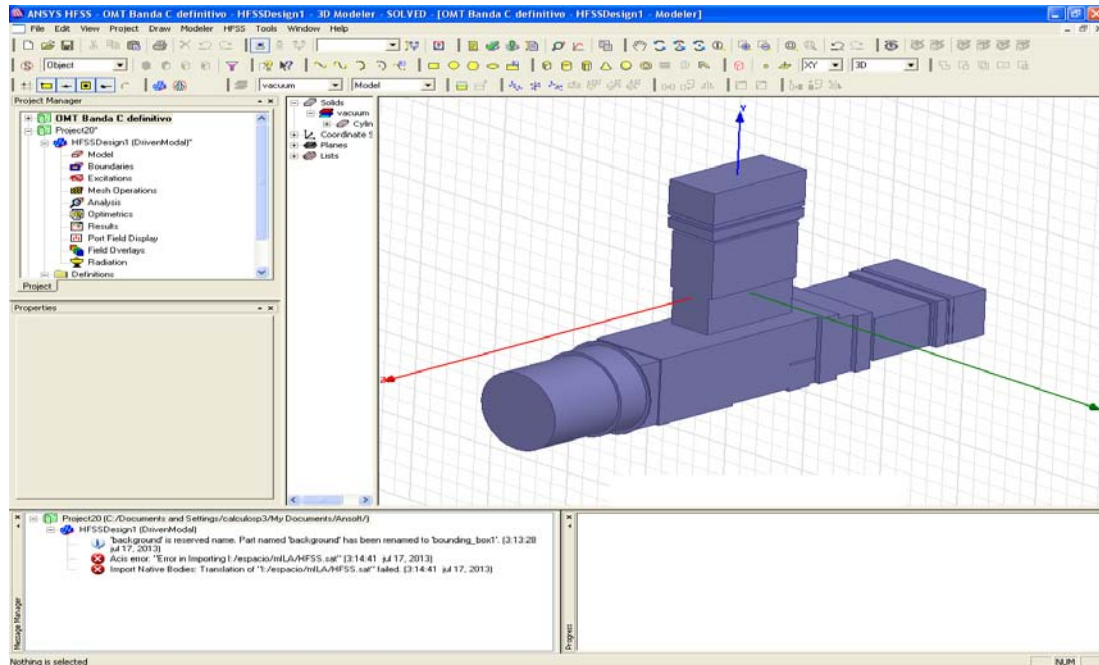


Figura 2.4.2.3.- Captura de la simulación del OMT en HFSS

4.3. Análisis de Potencia

Se simula el OMT para calcular el margen de multipaction y de corona. En este caso, los valores también se obtienen de la simulación con el programa HFSS.

En caso de que en el análisis se consiga un margen amplio y satisfactorio de multipaction y corona, no será necesario realizar los ensayos sobre el equipo real. Por este motivo es muy importante que el diseño del equipo tenga mucho cuidado en este aspecto, ya que, si no es completamente satisfactorio, nos veremos en la obligación de realizar dichos test con el consiguiente aumento de los costes de nuestro proyecto.

4.3.1. Multipactor

El proceso multipactor o multipaction, empieza cuando los electrones libres dentro de un dispositivo de RF son acelerados por un campo electromagnético de alta frecuencia. Si el campo eléctrico es lo suficientemente elevado, los electrones ganan energía y pueden liberar electrones secundarios que finalmente colisionan con las paredes del dispositivo de RF. Para que el proceso multipactor continúe, cada electrón incidente debe liberar más de un electrón secundario.

Si el tiempo entre colisiones de los electrones es tal que el campo eléctrico invierte su polaridad cuando los electrones secundarios se emiten, entonces los electrones secundarios se acelerarán. Cuando los electrones secundarios colisionan con las paredes opuestas del dispositivo producen más electrones secundarios. El proceso continúa de esta forma: el número de electrones libres aumenta después de cada colisión con las paredes del dispositivo como un fenómeno resonante. El resultado es un crecimiento exponencial en el número de electrones libres en el interior del dispositivo: esto se conoce como efecto multipactor.

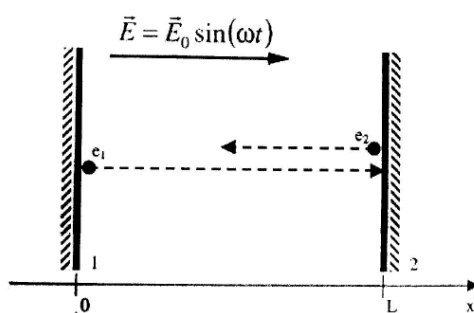


Figura 2.4.3.1.1.- Efecto Multipactor

El crecimiento de la carga libre debida al efecto multipactor puede tener un número indeseado de efectos en sistemas de RF. La nube de electrones absorbe y refleja la potencia de RF, incrementando las pérdidas de inserción y en consecuencia la reflexión. Los electrones también generan ruido y armónicos debido al movimiento, y estos efectos degradan seriamente el comportamiento del sistema.

En diversos casos, las repetidas colisiones de los electrones durante el efecto multipactor producen outgassing (liberación de gas) local, y el incremento en presión resultante puede disparar una descarga secundaria que puede destruir el dispositivo.

Para que ocurra multipactor se han de dar las siguientes tres condiciones:

1. El recorrido medio libre de los electrones libres debe ser mayor que las dimensiones del dispositivo de RF.
2. La energía de colisión de un electrón debe ser lo suficientemente grande como para liberar más de un electrón secundario de media (el rango de energías necesario para realizarlo depende del material con el que los electrones colisionan).
3. Para que se dé el efecto multipactor entre dos superficies los electrones deben cruzar el material en un número impar de semiciclos del campo de radiofrecuencia, a fin de conseguir un efecto resonante [11].

La figura siguiente muestra la curva usada para el análisis (curva de aluminio y de alodine). Es la curva comúnmente usada y aceptada por la ESA para este tipo de análisis. Se basa en curvas experimentales obtenidas mediante test y se trata de un caso pesimista ya que se basa en placas paralelas. El margen que la ESA considera admisibles para evitar el test es 6dB o más. Si está por debajo es recomendable realizar el test de multipactor.

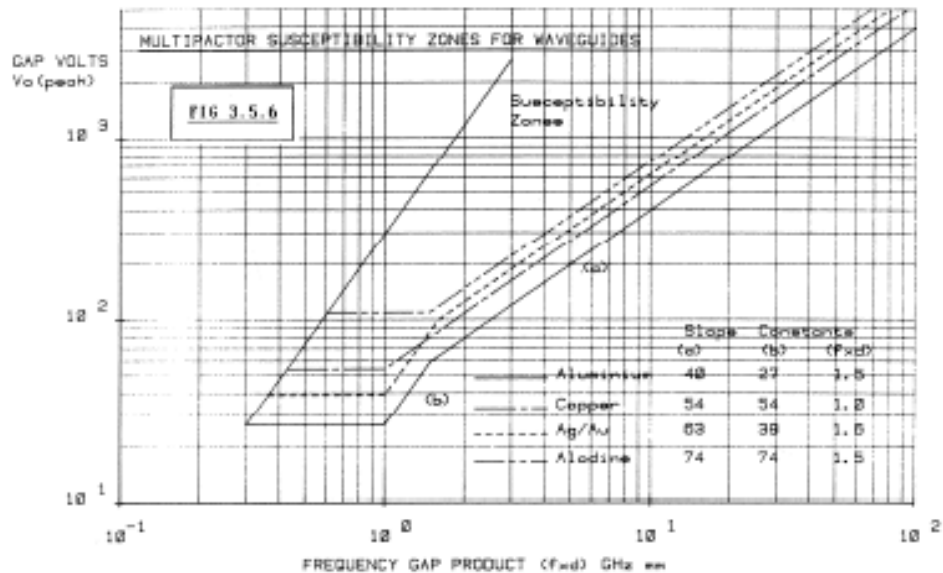


Figura 2.4.3.1.2.- Curva análisis Multipactor

4.3.2. Descarga de Corona

La Descarga de Corona consiste en un fenómeno de avalancha basado en la generación de electrones secundarios por colisión de electrones primarios, los cuales han sido acelerados por el campo eléctrico, sobre moléculas del gas (partículas neutras).

Por lo tanto, son necesarios electrones para la generación de la descarga. Éstos, al absorber parte de la energía de RF, comienzan un movimiento de oscilación. Bajo ciertas condiciones de presión, impactan con partículas neutras, de modo tal que nuevos electrones son generados, que de nuevo impactan con otras partículas neutras. Si los nuevos electrones no son absorbidos se crea un plasma que provoca la aparición de la descarga.

Por tanto, el principal fenómeno que contribuye a la aparición de electrones libres es la ionización de las moléculas del gas (los electrones que impactan deben transferir suficiente energía a la molécula para que el electrón secundario supere la energía que le “ata” a ella).

La descarga de Corona no puede saltar en el espacio vacío. Es necesario el gas que será ionizado y eso ocurre preferentemente en un rango de presiones relativamente bajas de entre 100 y $1 \cdot 10^4$ Pa, lo cual se corresponde con la ionosfera (de 60 a 800 Km de altura). Aunque parecería a simple vista que no debería afectar a la operación del satélite, en muchos casos la cadena de TTC y Balizas empiezan a operar al comienzo del lanzamiento o a los pocos minutos de él.

Los efectos de esta descarga de Corona son una disminución de la potencia de salida del dispositivo, un incremento de la temperatura en la zona del arco (que puede incluso dañar las paredes) así como de la potencia reflejada, lo cual puede llevar al daño de la fuente de potencia (TWTs). [12]

El umbral de potencia de la descarga de corona es un parámetro crítico que debe tomarse en consideración. La potencia de operación debe ser al menos 3 dB menor que la potencia calculada mediante software o en algunos casos medida experimentalmente, para asegurarse que la descarga no ocurrirá en condiciones de despegue si el equipo funciona durante esa fase siguiendo los márgenes de las industrias espaciales.

El método para calcular el efecto corona se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Se debe calcular el gradiente de potencia crítico.
2. Calcular el gradiente de potencial máximo en la superficie del conductor.
3. Se verifica si existe el efecto corona si el gradiente máximo en la superficie de los conductores es mayor al gradiente crítico.

$$\text{Si } E_{\text{maxi}} > E_{\text{ci}} \rightarrow \text{presenta Efecto Corona}$$

La figura siguiente muestra la curva de MacDonald usada para el análisis, como con la curva anterior es el referente de la ESA para este tipo de análisis y también se basa en curvas experimentales.

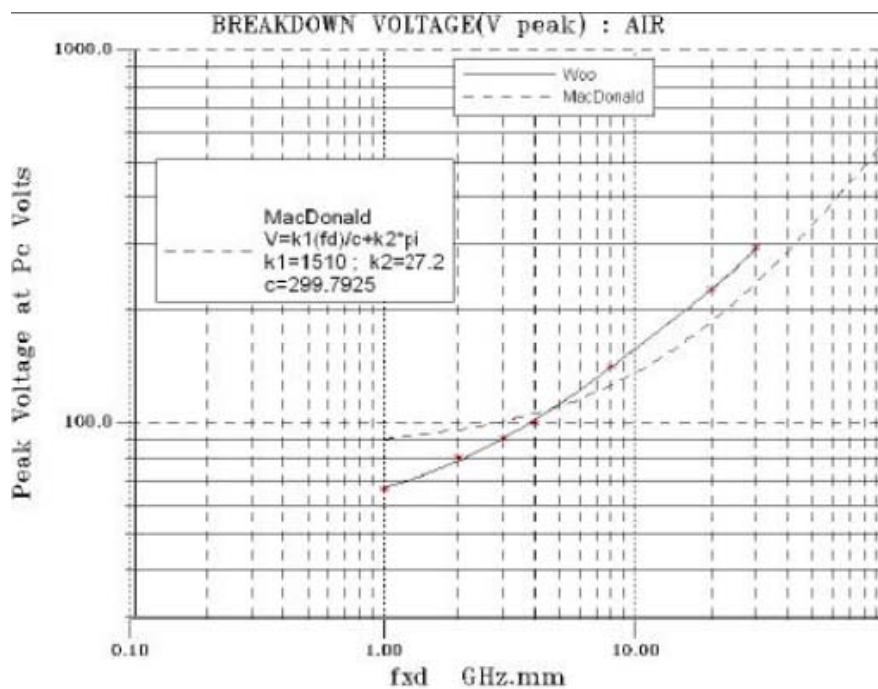


Figura 2.4.3.2.1 Curva análisis Efecto Corona.

4.3.3. Resultados del Análisis

Los resultados que se presentan en la tabla 2.4.3.3.1 han sido realizados en la zona más crítica de nuestro OMT, pues es este el peor caso para el multipaction y la corona.

<i>Gap</i>	<i>Voltaje (1W por puerto)</i>	<i>Umbral Corona</i>	<i>Margen Corona</i>	<i>Umbral Multipactor</i>	<i>Margen Multipactor</i>
<i>7.71mm</i>	<i>34.21 V</i>	<i>248.56 V</i>	<i>17.27 dB</i>	<i>2567.43 V</i>	<i>37.50 dB</i>

Tabla 2.4.3.3.1.- Análisis de Potencia

Observando los resultados y teniendo en cuenta lo dicho anteriormente, podemos concluir que nuestro equipo ha pasado el análisis de multipaction y corona satisfactoriamente y por tanto no hará falta realizar los test en la fase de ensayos.

5. TRANSICIÓN COAXIAL A GUÍA-ONDA

Este elemento se utiliza para adaptar la señal desde un cable coaxial a una guía-onda. En la figura 2.5.1 podemos observar una transición de WR229 a SMA.



Figura 2.5.1.- Adaptador SMA-WR229

En nuestro caso, hemos utilizado una transición existente de un programa anterior, por lo que el diseño de este equipo ya había salido realizado. Para nuestro proyecto, sólo hemos tenido en cuenta que las prestaciones de este adaptador encajan perfectamente con nuestras necesidades.

La banda de frecuencias de estos adaptadores es de 3,4 GHz a 4,8 GHz. Además de esta banda, hay que añadir ± 20 MHz para que los parámetros eléctricos cumplan con el margen de temperatura (Desplazamiento en frecuencia debido a las temperaturas extremas).

Desde el punto de vista eléctrico, la adaptación entre el conector SMA y a Guía WR229 se realiza mediante un bar-line colocado a lo ancho de la guía y unido al conector SMA. Además, se requieren dos tornillos de sintonía para obtener un buen nivel de Pérdidas de Retorno en la banda especificada.

La transición de coaxial a guía-onda se emplea para adaptar el campo proveniente de un cable coaxial a una guía. El campo existente en un cable coaxial y su adaptación a la guía se pueden observar en la figura 2.5.2

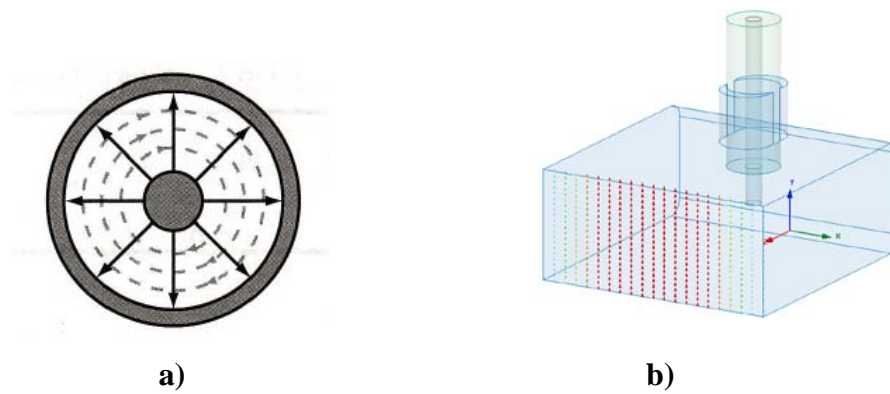


Figura 2.5.2.- Distribuciones de campo, en cable coaxial (a) y en una transición (b)

Como este equipo ya estaba diseñado y fabricado, los resultados que se muestran a continuación son medidas realizadas en el laboratorio sobre un equipo real.

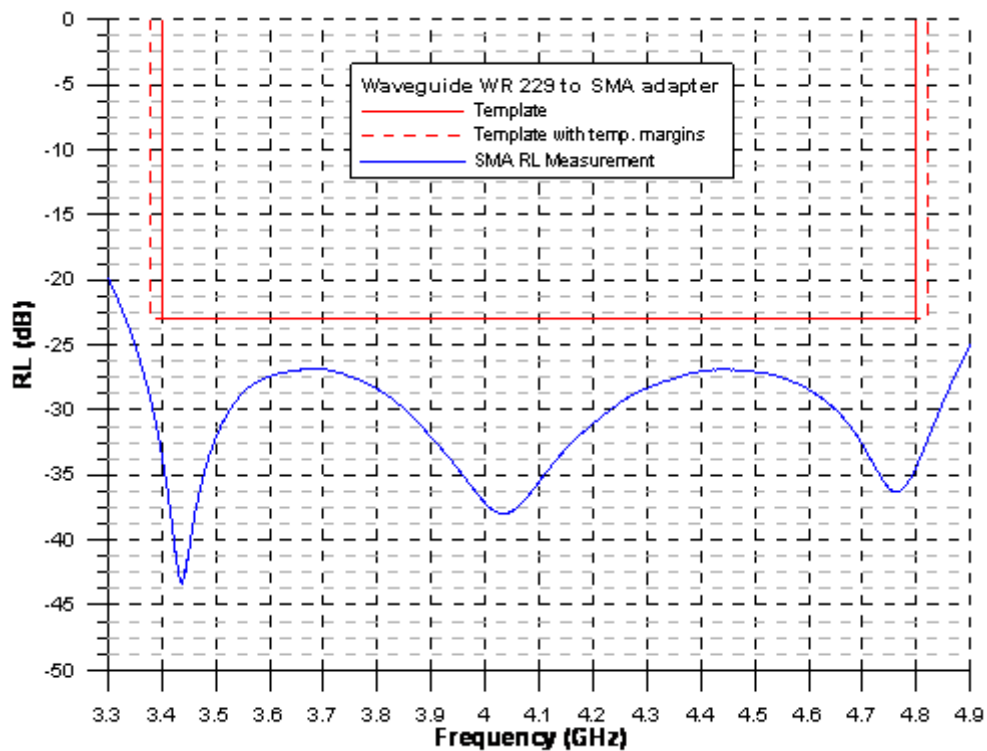


Figura 2.5.3.- Pérdidas de Retorno de la Transición SMA-WR229

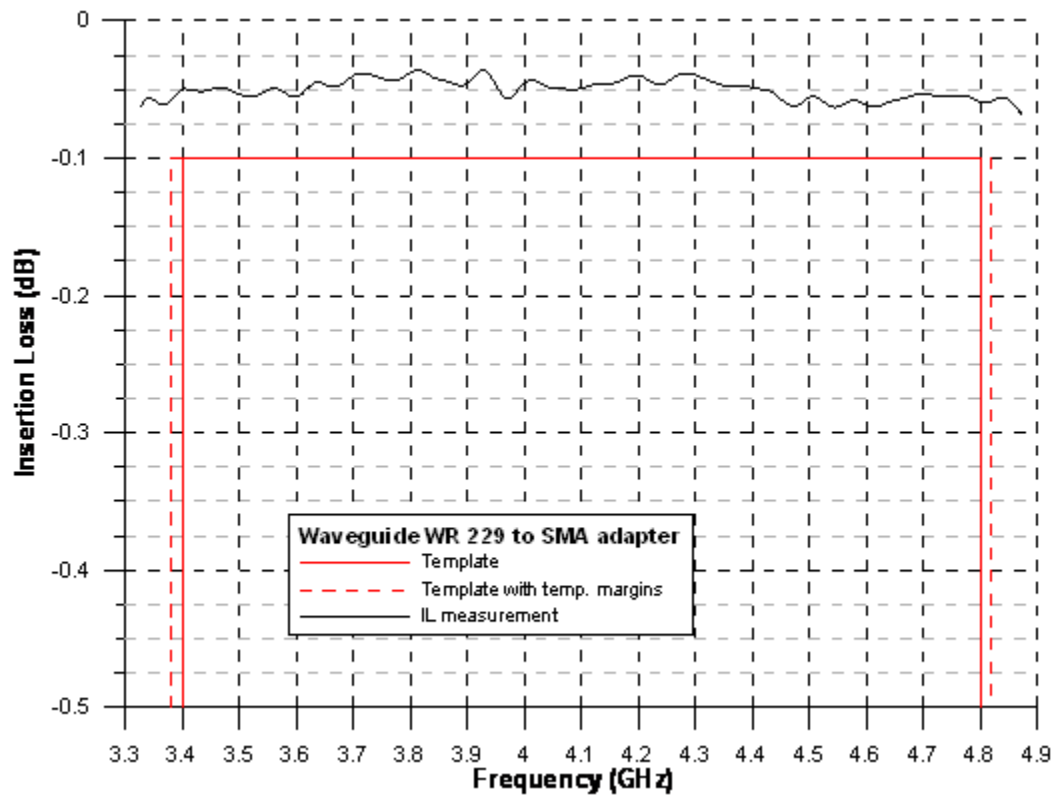


Figura 2.5.4.- Pérdidas de Inserción de la Transición SMA-WR229

6. TEST CAP

El Test Cap es un equipo de “No Vuelo” que se emplea en determinados ensayos, normalmente de potencia. Al estar caracterizado perfectamente podemos comprobar que nuestra antena funciona correctamente sin el peligro de que radie señales de alta potencia de forma descontrolada en espacios no preparados para tal efecto.

Uno de los ensayos más importante que se realizan a nivel satélite, es cuando éste se encuentra completamente ensamblado y se hace funcionar a plena potencia en el laboratorio. Si nuestra antena no dispusiera de este elemento, radiaría la señal hacia el laboratorio sin tener certeza fehaciente de cuanta potencia de la que le suministramos realmente está radiando y con el consiguiente peligro que conllevaría para los técnicos y personal que se encontrará a su alrededor.

Al ser un equipo no destinado al vuelo, sus especificaciones eléctricas y mecánicas son un poco más laxas que los elementos que si vuelan.

El test cap está dividido en dos partes:

- La sección absorbente
- La transición a coaxial de salida

Todos los elementos del Test Cap, a excepción del material absorbente están fabricados en aluminio con un tratamiento superficial de alodine.

6.1. La sección absorbente

Esta parte está completamente forrada con material absorbente (eccosorb MF-117 500F) fabricado en forma de conos que se encuentran pegados en las paredes de la cavidad.

Esta sección esta directamente conectada a la apertura de la antena y se sujeta a ella con tornillos. La función de esta sección del test cap es la de absorber la mayor parte de la señal transmitida por la antena para disminuir las reflexiones de la señal en los puertos de la antena.

6.2. Transición de salida a Coaxial

La parte de la señal que no es absorbida en la sección anterior es transmitida a un conector SMA. La posición del conector en la transición es diseñada mediante el programa HFSS, para que la señal tenga unas bajas Pérdidas de Retorno a las dos bandas de frecuencia de funcionamiento de la antena.

Para conseguir el valor de acoplo especificado, se coloca un atenuador de Eccosorb dentro de la transición. El tamaño del atenuador se va modificando hasta que obtenemos el valor de acoplo requerido.

6.3. Resumen del Test Cap

Con todas estas consideraciones, todos los parámetros del Test Cap cumplen con la especificación del cliente. Los principales requisitos son:

- El Test Cap funcione en todas las bandas de operación.
- La atenuación entre el puerto del Test Cap y los puertos de nuestra antena debe de estar calibrada con una precisión de ± 0.15 dB
- El Coeficiente de Onda Estacionaria de cada puerto de la antena cuando el Test Cap este puesto, debe ser menor de 1.5:1.
- La ganancia de la antena con el Test Cap debe ser menor de -20 dBi.



Figura 2.6.3.1.- Imagen 3D del Test Cap

7. TABLA DE CUMPLIMIENTOS

<i>C-Band Beacon Horn</i>				
<i>PARÁMETROS</i>	<i>REQUERIMIENTOS</i>	<i>VALOR</i>	<i>STATUS DE CUMPL.</i>	<i>OBSERVACIONES</i>
<i>Banda de Frecuencias</i>	<i>F1: 3947 + 10 MHz</i> <i>F2: 4500 + 10 MHz</i>	<i>F1: 3947 + 10 MHz</i> <i>F2: 4500 + 10 MHz</i>	<i>C</i>	<i>Banda de Frecuencias extendidas [-0.02; +0.02] GHz para cumplir en condiciones extremas</i>
<i>Polarización</i>	<i>Polarización Lineal</i> <i>X: girada 45° con respecto al plano ecuatorial</i> <i>Y: ortogonal a la polarización X</i>	<i>Polarización Lineal</i> <i>X: girada 45° con respecto al plano ecuatorial</i> <i>Y: ortogonal a la polarización X</i>	<i>C</i>	
<i>Cobertura y Ganancia</i>	<i>Cobertura Global</i> <i>Pico de Ganancia: ≤ 17.0 dBi</i> <i>Ganancia Mínima: > 14 dBi</i>	<i>Cobertura Global</i> <i>Pico de Ganancia: $F1 \leq 15.4$ dBi</i> <i>$F2 \leq 16.4$ dBi</i> <i>Ganancia Mínima: > 14 dBi</i>	<i>C</i>	
<i>Gain Slope</i>	<i>< 1 dB/°</i>	<i>< 0.7 dB/°</i>	<i>C</i>	
<i>Gain Stability</i>	<i>< 0.2 dB cada 15°C</i>	<i>< 0.2 dB cada 15°C</i>	<i>C</i>	
<i>ROE</i>	<i>1.2:1</i>	<i>$< 1.2:1$</i>	<i>C</i>	
<i>Aislamiento entre Puertos</i>	<i>35 dB</i>	<i>> 52 dB</i>	<i>C</i>	

<i>Power Handling</i>	<i>1 W por puerto</i>	<i>1 W por puerto</i>	<i>C</i>	
<i>Crosspolar Discrimination</i>	<i>> 36.9 dB</i>	<i>> 36.9 dB</i>	<i>C</i>	
<i>Margen Multipaction</i>	<i>12 dB sobre el pico de potencia</i>	<i>37.50 dB sobre el pico de potencia</i>	<i>C</i>	
<i>Margen Corona</i>	<i>12 dB sobre el pico de potencia</i>	<i>17.27 dB sobre el pico de potencia</i>	<i>C</i>	
<i>Acoplo del Test Cap</i>	<i>20 dB + 3 dB</i>	<i>20 dB + 3 dB</i>	<i>C</i>	
<i>ROE Antena con Test Cap</i>	<i>1.5:1</i>	<i>1.5:1</i>	<i>C</i>	
<i>Ganancia con Test Cap</i>	<i><-20 dB</i>	<i><-20 dB</i>	<i>C</i>	

Tabla 2.7.1.- Tabla de Cumplimientos

8. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones de este diseño son:

- El diseño de la Antena cumple con todos los requisitos eléctricos en todas las bandas.
- Se ha realizado el cálculo completo del total de las Pérdidas de Retorno de la antena. El peor caso encontrado teniendo en cuenta la contribución en fase de la antena + OMT + Transición Guía-SMA es de 24.38 dB.
- El diseño del Test Cap satisface todos los requisitos expuestos en la Especificación del cliente.

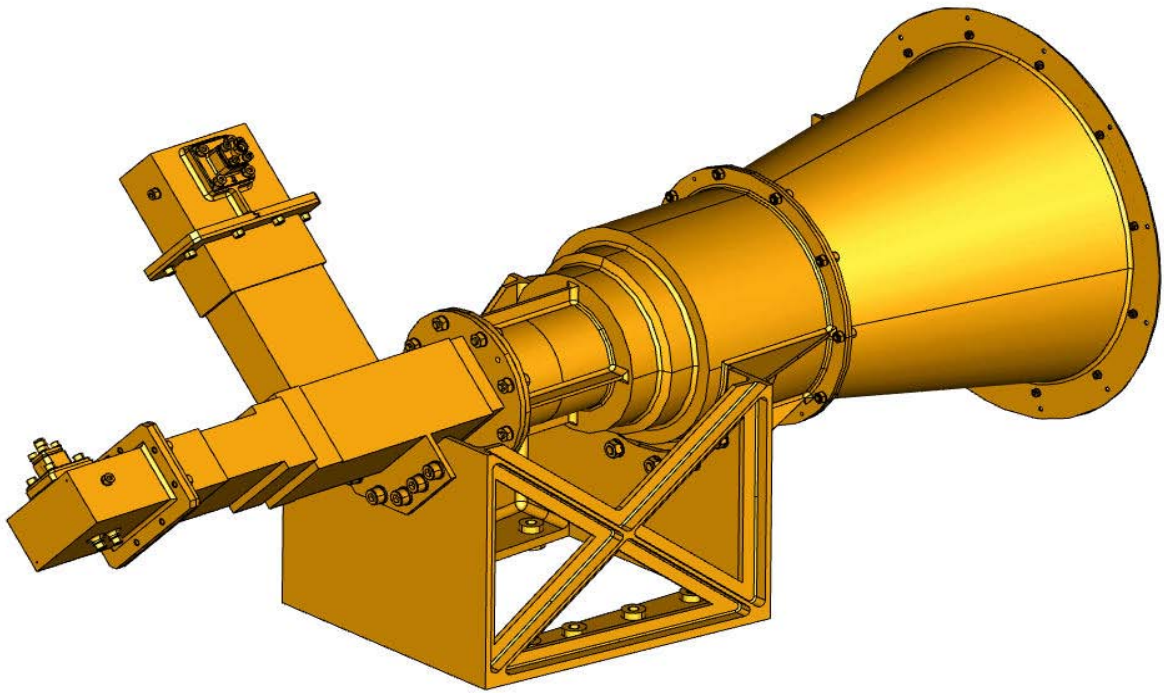


Figura 2.8.1.- Imagen 3D de nuestra antena completa

CAPÍTULO 3. PROCEDIMIENTOS DE MEDIDA

1. INTRODUCCIÓN

El conjunto de medidas a las que se va a someter el equipo son realizadas siguiendo unos procedimientos de medida que son estudiados y analizados antes de realizar la campaña de test de la antena.

Así mismo, estos procedimientos se ponen a disposición del cliente para que los revise y de su aprobación para su realización. De esta forma, el cliente sabe en qué condiciones se ha realizado la medida.

Estos procedimientos incluyen los siguientes puntos:

- Equipamiento requerido
- Secuencia de Test
- Condiciones de Realización de los Test
- Calibración de los Equipos de Medida

El propósito de los test realizados en el Laboratorio y en el Compact Range es comprobar los parámetros eléctricos de la Antena y obtener una completa caracterización del diagrama de campo lejano del equipo.

2. MEDIDAS ELÉCTRICAS DE LABORATORIO

2.1. Equipamiento de Ensayos

Los equipos de ensayos necesarios para realizar las medidas eléctricas de laboratorio son los siguientes:

- Analizador de Redes, Agilent Technologies PNA N5230A (10MHz-20GHz)
- Cables del Analizador de Redes, Gore Assemblies.
- Milióhmetro, Megger BT51
- Kits de Calibración
 - Kit de Calibración SMA, Agilent Technologies 85052D

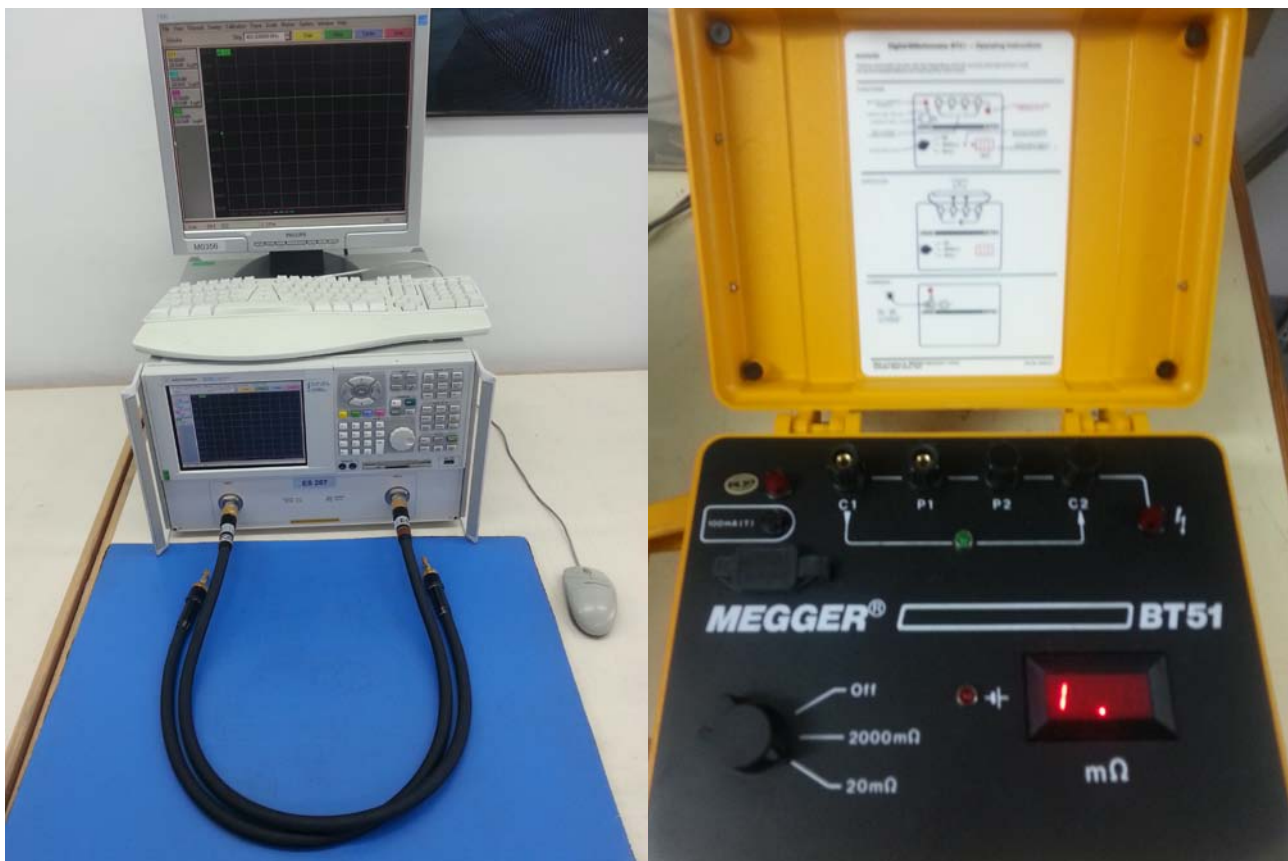


Figura 3.2.1.1.- Equipos de Ensayo.

2.2. Secuencia de Test

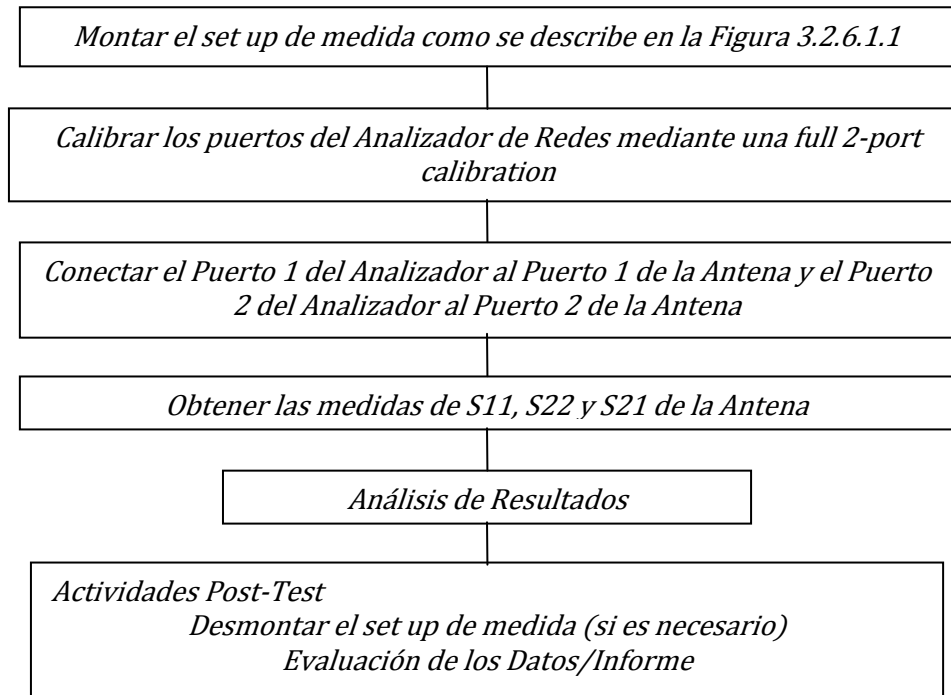
En el caso de nuestra Antena se van a realizar tres ensayos eléctricos de laboratorio a lo largo de la campaña tal y como se acuerda con el cliente en el Test Plan:

- Test Inicial
Que incluye, medidas con el Analizador de Redes de la Antena y de la Antena con el Test Cap puesto.
- Test Post Vibración
Medidas de la Antena en el Analizador de Redes.
- Test Final
Compuestas por, medidas con el Analizador de Redes de la Antena, de la Antena con el Test Cap puesto, y de ESD de la Antena con el milióhmetro.

2.3. Medida de la Antena con el Analizador de Redes

La Antena se mide con el Analizador de Redes para comprobar las Pérdidas de Retorno y el Aislamiento entre los puertos de la Antena.

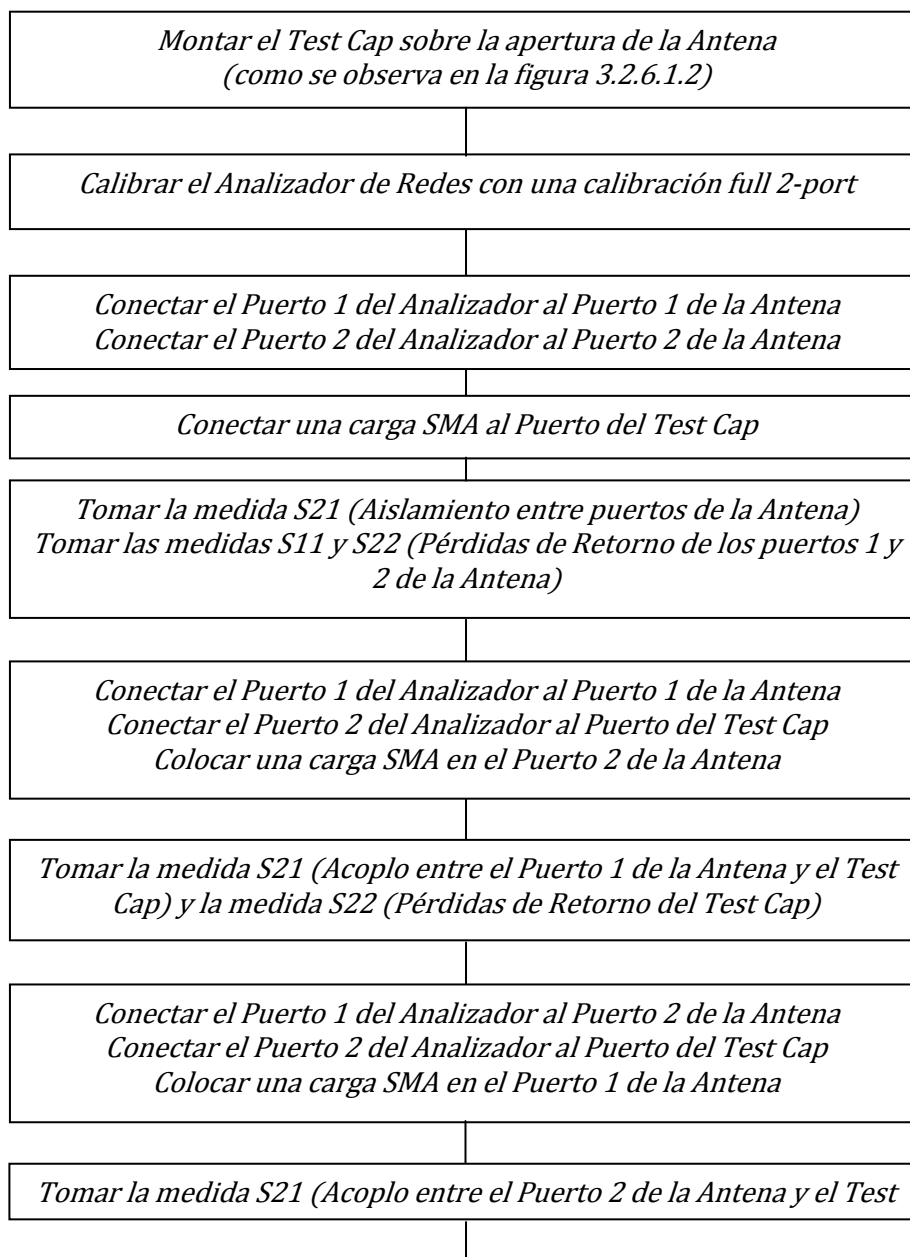
La secuencia de medida es la siguiente:

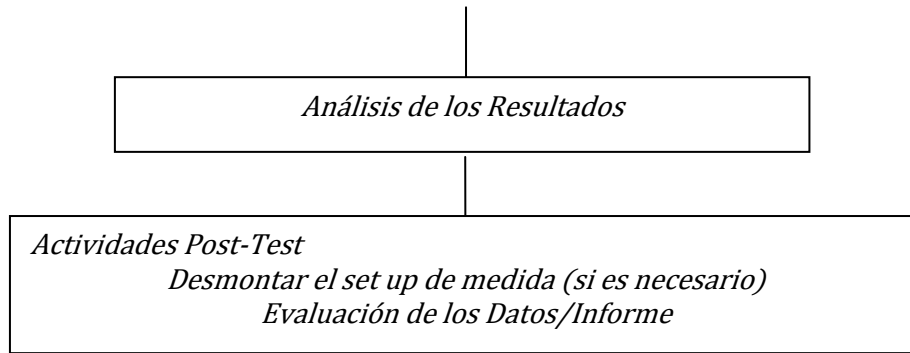


2.4. Medida de la Antena y el Test Cap con el Analizador de Redes

En el caso de nuestra antena hay que añadir a las medidas de laboratorio, los parámetros de caracterización de la antena con el Test Cap colocado en su posición. Para realizar dicha caracterización debemos realizar con el Analizador de Redes las medidas de Pérdidas de Retorno de la Antena, Aislamiento entre Puertos de la Antena, Pérdidas de Retorno del Test Cap y Acoplos entre los puertos de la antena y el puerto del Test Cap.

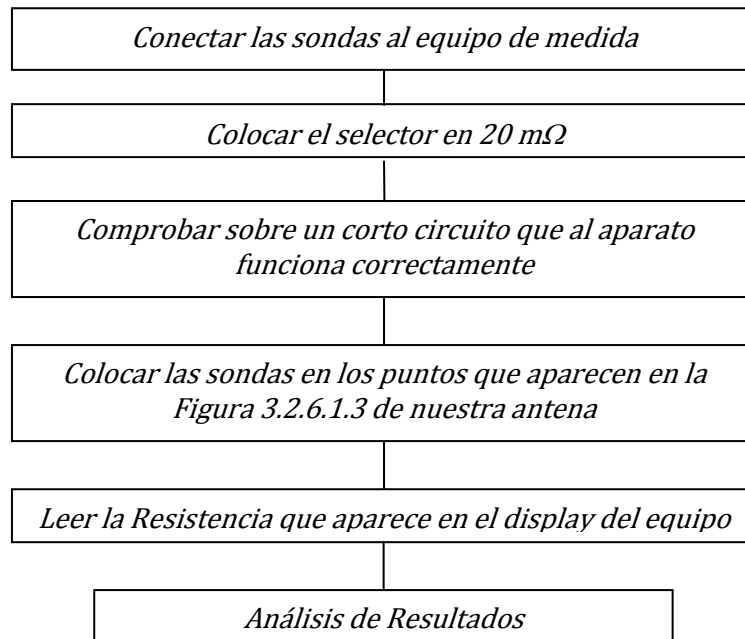
La secuencia de medida es la siguiente:





Nota Importante: Se colocará una carga en los puertos de la Antena o el Test Cap que no se estén midiendo en ese momento.

2.5. ESD (Resistencia DC entre dos puntos de la Antena)



Nota: Los puntos de medida no pueden estar en áreas pintadas. Esto es debido a dos motivos, para no dañar la pintura, pero sobre todo, porque la pintura es mala conductora y la lectura de resistencia que obtendríamos sería incorrecta.

2.6. Realización de los Test

2.6.1. Set Up del Ensayo

El Set Up del ensayo consiste en todos aquellos elementos que son necesarios para la realización de las medidas de laboratorio, es decir, los equipos de medida, elementos especiales de ensayo y la antena. La disposición y uso de estos elementos variará dependiendo de las medidas que se estén realizando sobre nuestra antena en cada momento.

En las siguientes figuras podemos ver los esquemas generales de las medidas a realizar.

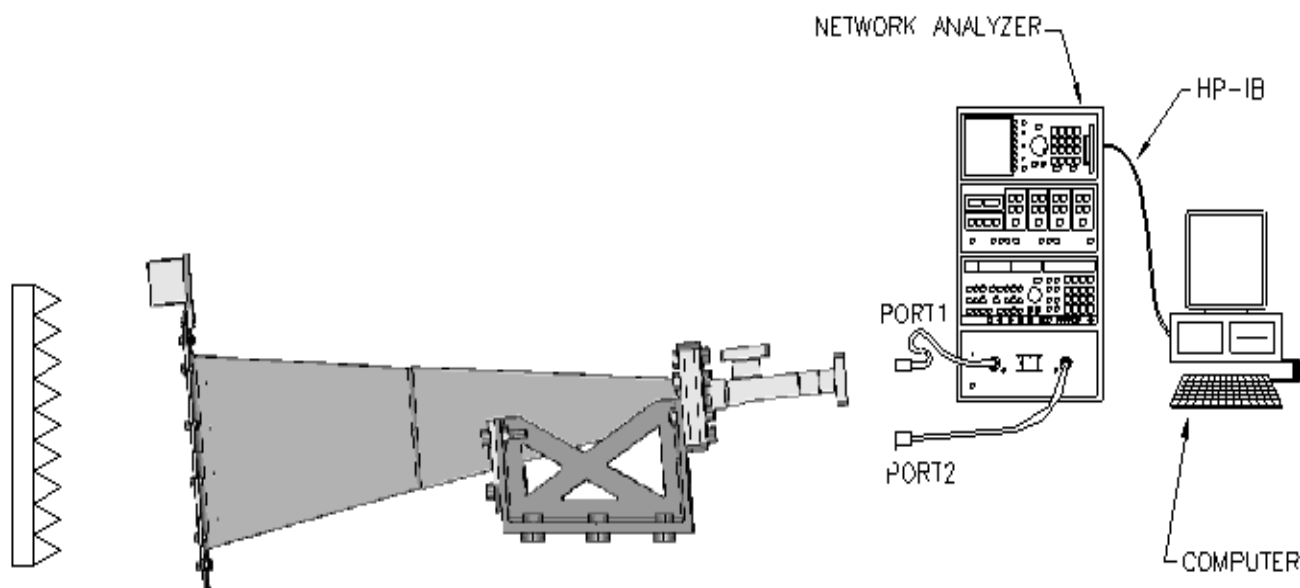


Figura 3.2.6.1.1.- Set Up de Ensayo para las Medidas de la Antena en el Laboratorio

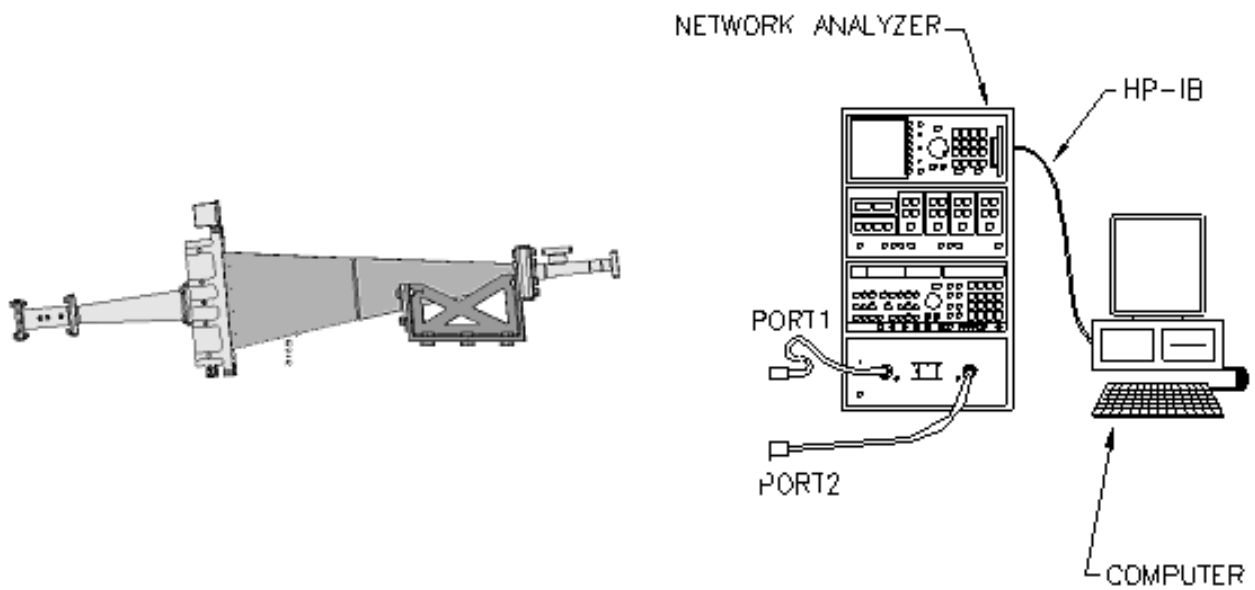


Figura 3.2.6.1.2.- Set Up de Ensayo para las Medidas de la Antena con el Test Cap en el Laboratorio

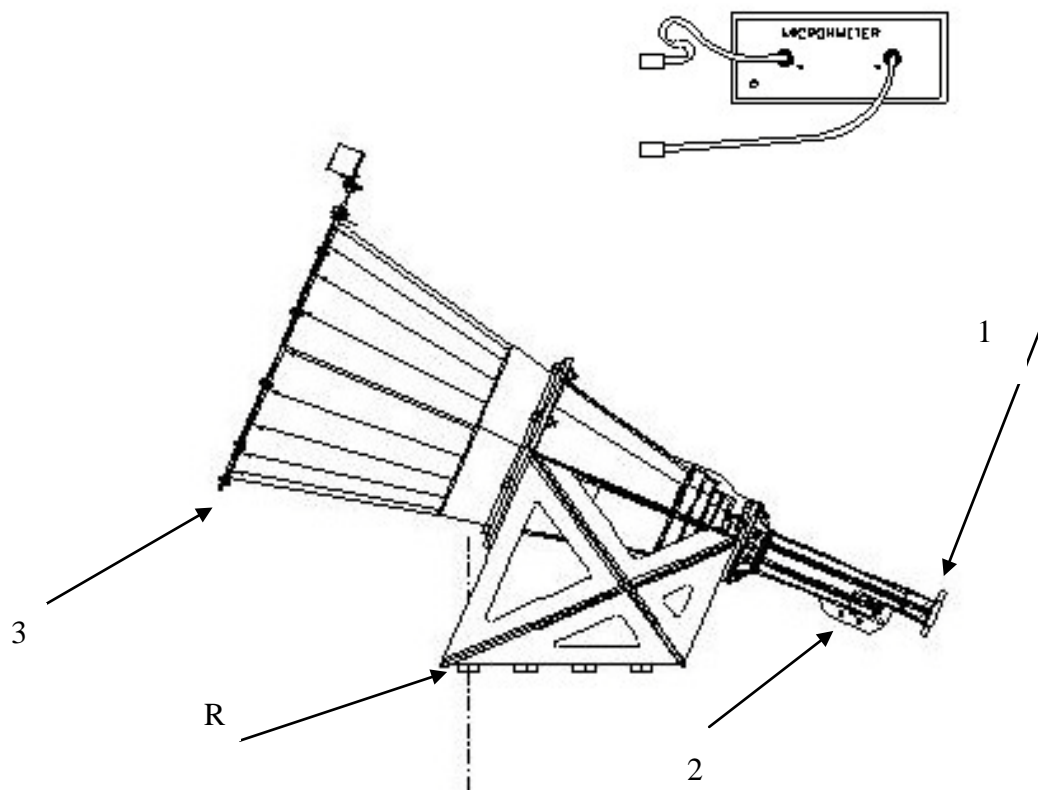


Figura 3.2.6.1.3.- Set Up de Ensayo para las Medidas de ESD de la Antena

2.7. Error de Medida

En todas las medidas que se realizan existe una incertidumbre o error de medida debido a los equipos de test, esta incertidumbre inherente a los equipos se puede calcular a través de un programa que facilita el propio fabricante del equipo, en este caso, Agilent Technologies, llamado “Vector Network analyzer Uncertainty Calculator”.

Los valores de la incertidumbre dependen de la banda medida y de los kit de calibración utilizados, en nuestro caso vienen dados por:

- SMA Kit Calibration

C-Band (3.4 GHz-7.05 GHz)

<i>S11</i>	<i>Incetidumbre</i>		<i>S21</i>	<i>Incetidumbre</i>	
<i>Mag.</i>	<i>Mag.</i>	<i>Fase</i>	<i>Mag.</i>	<i>Mag.</i>	<i>Fase</i>
0.14	0.015	5.96°	0.032	0.0003	1.27°
			0.01	0.0002	1.35°
0.1	0.014	8.04°	0.032	0.0002	1.17°
			0.01	0.0002	1.25°
0.05	0.013	10°	0.032	0.0002	1.05°
			0.01	0.0002	1.13°

<i>S11</i>	<i>Incetidumbre</i>		<i>S21</i>	<i>Incetidumbre</i>	
<i>dB</i>	<i>dB</i>	<i>Fase</i>	<i>dB</i>	<i>dB</i>	<i>Fase</i>
-17	+0.81	5.96°	-30	0.193	1.27°
	-1.06		-40	0.205	1.35°
-20	+1.13	8.04°	-30	0.179	1.17°
	-1.31		-40	0.190	1.25°
-25	+1.77	10°	-30	0.161	1.05°
	-2.33		-40	0.173	1.13°

Tabla 3.2.7.1.- Tablas de Errores

3. MEDIDAS DE RADIACIÓN DE CAMPO LEJANO EN EL CAMPO DE MEDIDA COMPACTO (COMPACT RANGE)

3.1. Equipos de Medida

El Compact Range es un sistema gregoriano de dos reflectores (reflector principal y subreflector) con un Analizador de Redes HP 8530A controlado por Ordenador y un posicionador ORBIT.

Equipos hasta 26.5GHz

- Frequency Converter (45MHz-26.5MHz) 8511A-HP
- Microwave Receiver 8530A HP
- Sweep Oscillator 8350B
- Synthesized Sweeper (10MHz-26.5GHz) 8340A-HP
- Positioner Controller AL-4706-3A-ORBIT
- Positioner Controller AL-4103-23-ORBIT
- Bocina de Ganancia Estándar SA-12-3.9 SCIENT.ATL (3.9GHz-5.8GHz)
- Antena Fuente Feed Horn AR= 0.15dB (3.95 GHz-5.85 GHz)
- Bocina de Polarización de Referencia.
- Distintos soportes y útiles de medida.



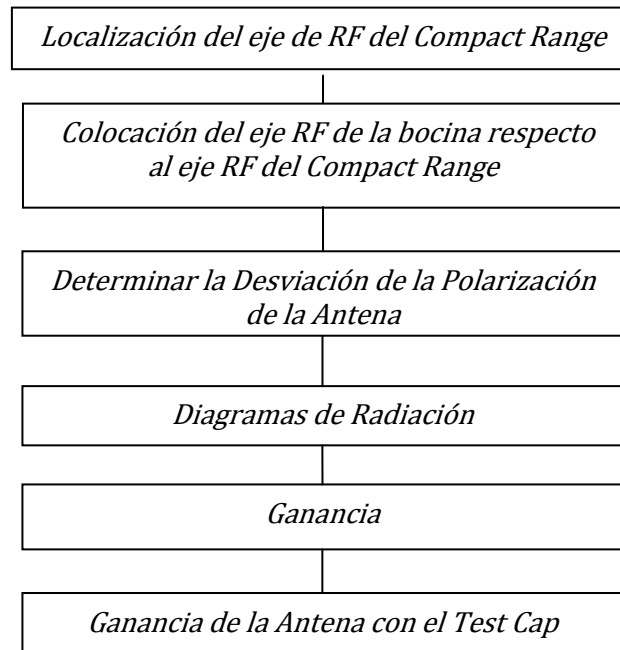
Figura 3.3.1.1.- Equipos de Medida del Compact Range

En el caso de nuestra Antena se van a realizar dos ensayos eléctricos de radiación a lo largo de la campaña, tal y como se acuerda con el cliente en el Test Plan:

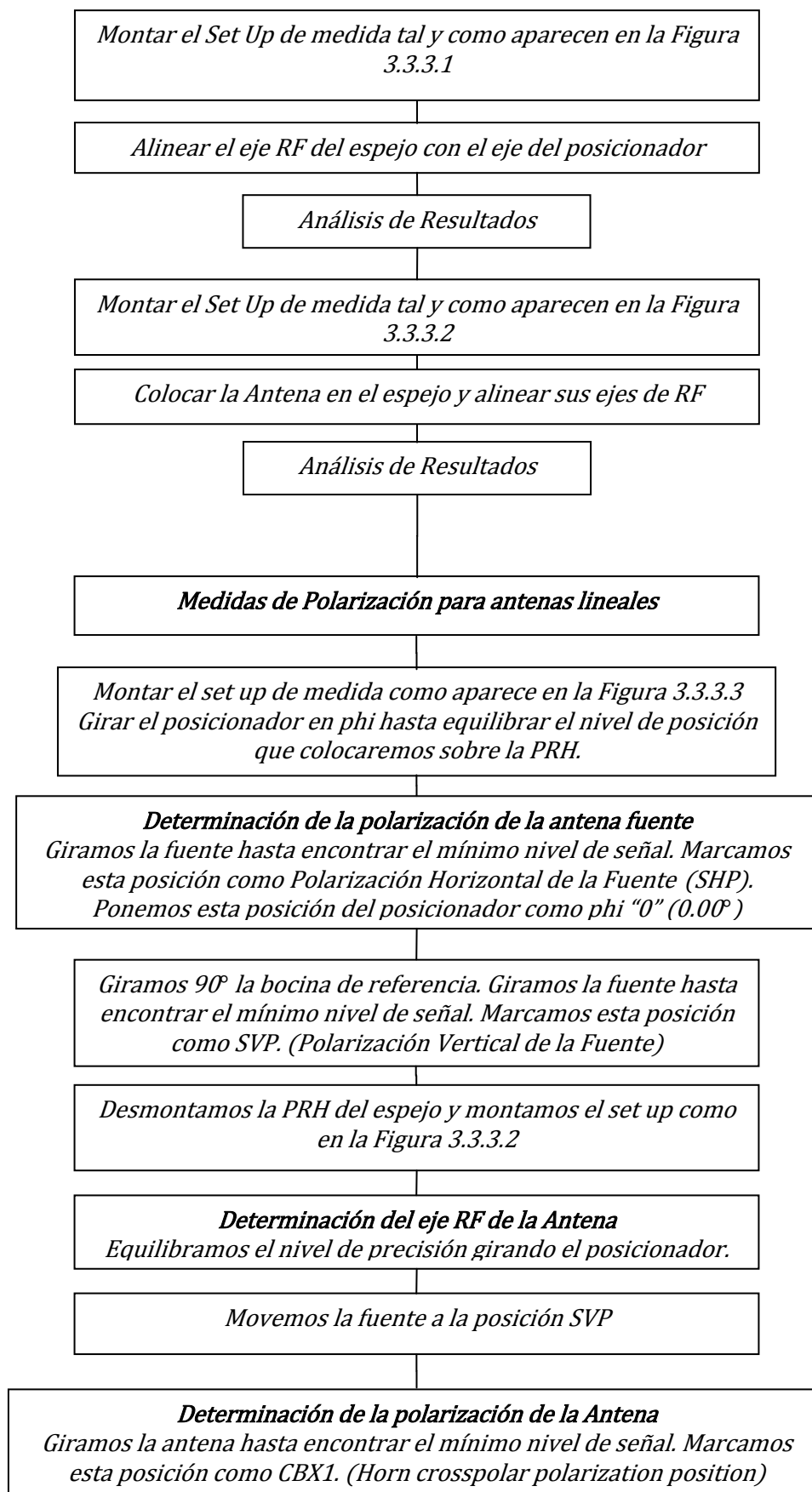
- Test Inicial
Que incluye, Diagramas de Radiación y Ganancia
- Test Final
Compuestas por, Diagramas de Radiación, Ganancia, Ganancia fuera de Banda y Ganancia de la Antena con el Test Cap.

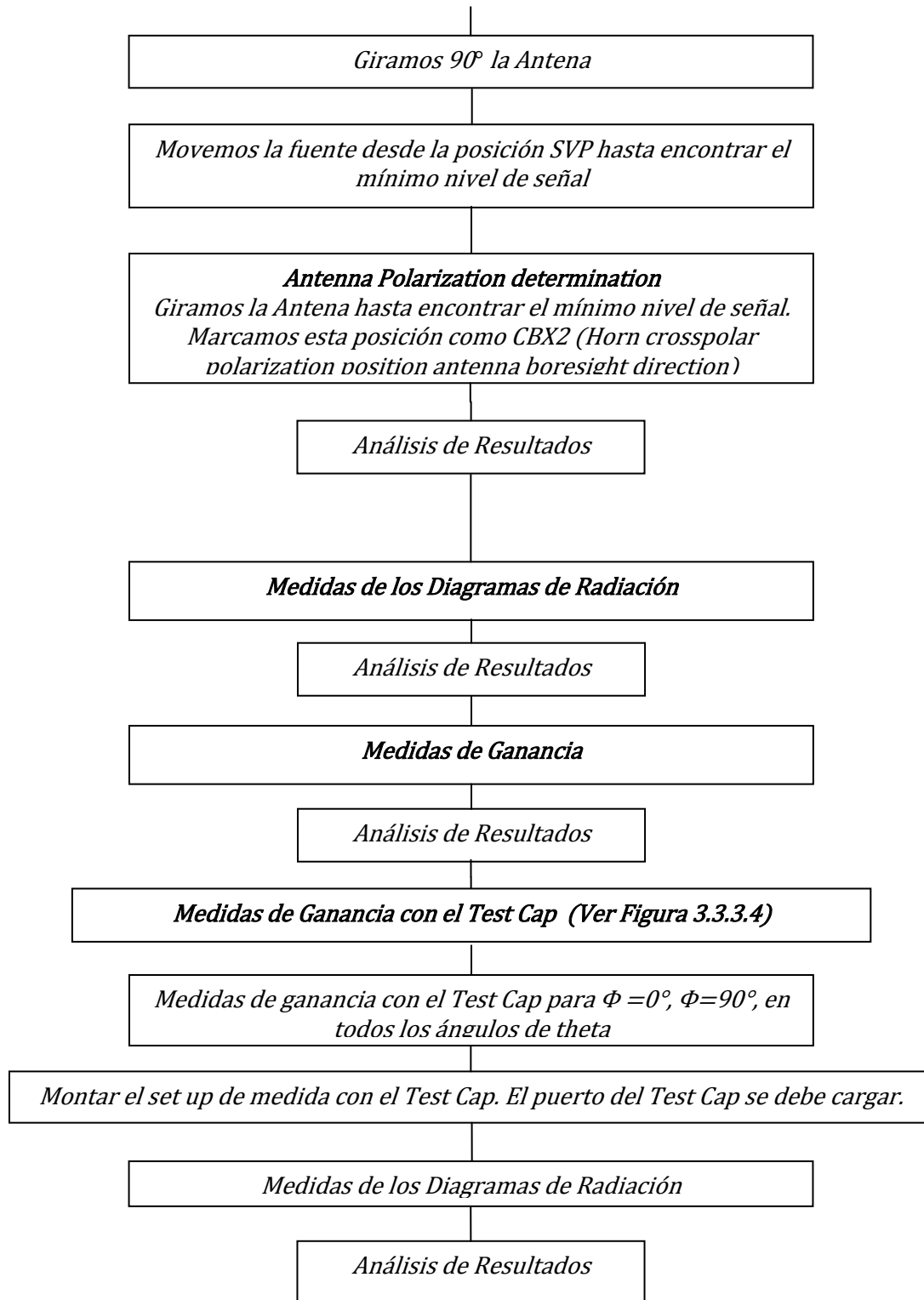
3.2. Secuencia de Test

Para medir nuestra Antena en radiación en el Compact Range debemos seguir la siguiente secuencia:



Secuencia de Test detallada:





3.3. Test Set Up

El Set Up del ensayo son todos aquellos elementos necesarios para la realización de las medidas de laboratorio, es decir, los equipos de medida, útiles especiales de ensayo y la propia antena. La disposición y uso de estos elementos variará dependiendo de las medidas que se estén realizando sobre nuestra antena en cada momento.

En las siguientes figuras podemos ver los esquemas generales de los set up de medida.

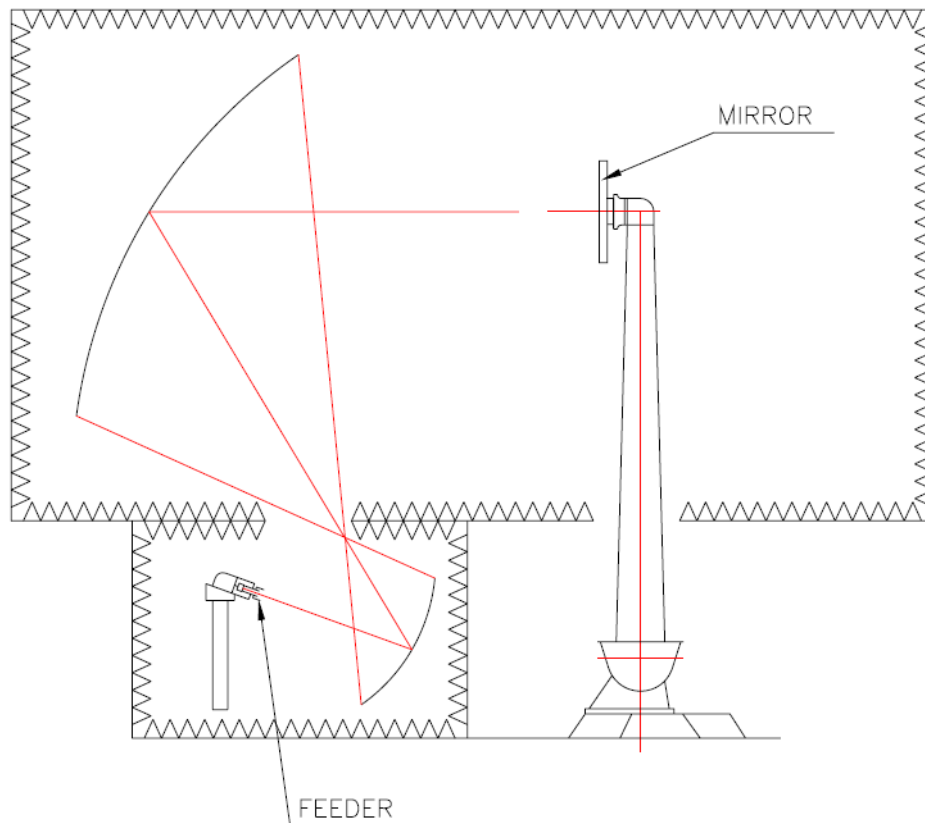


Figura 3.3.3.1.- Posicionamiento del espejo en el Compact Range

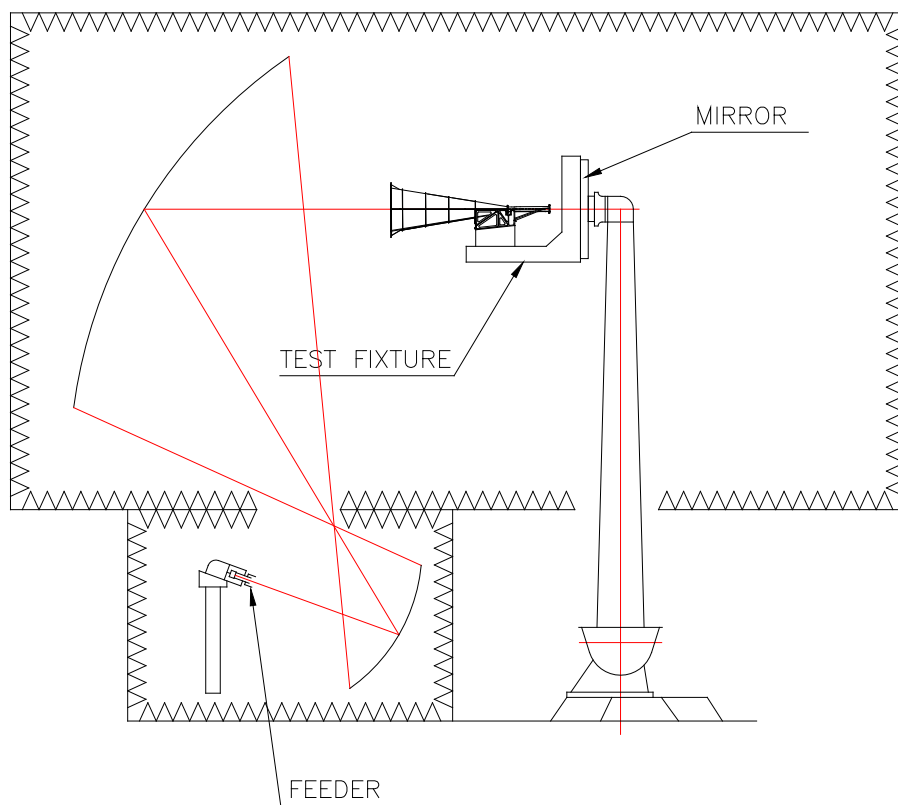
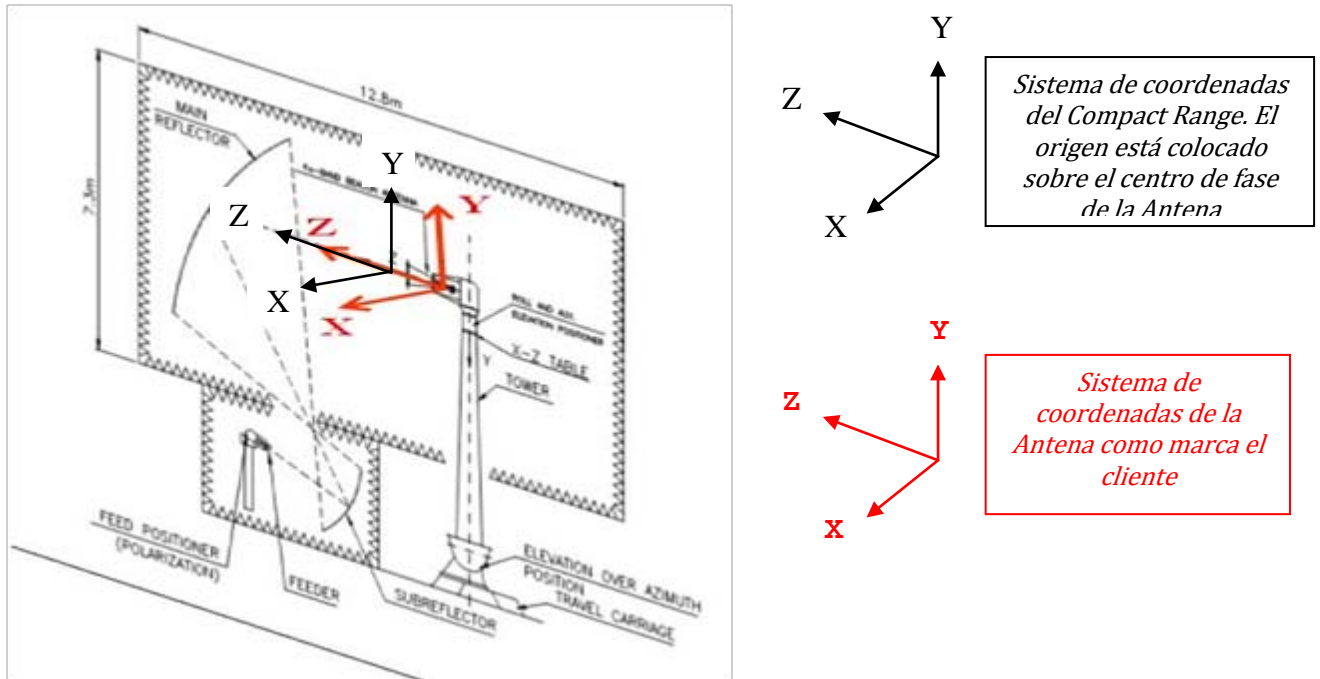


Figura 3.3.3.2.- Set Up de Medida de los Diagramas de Radiación

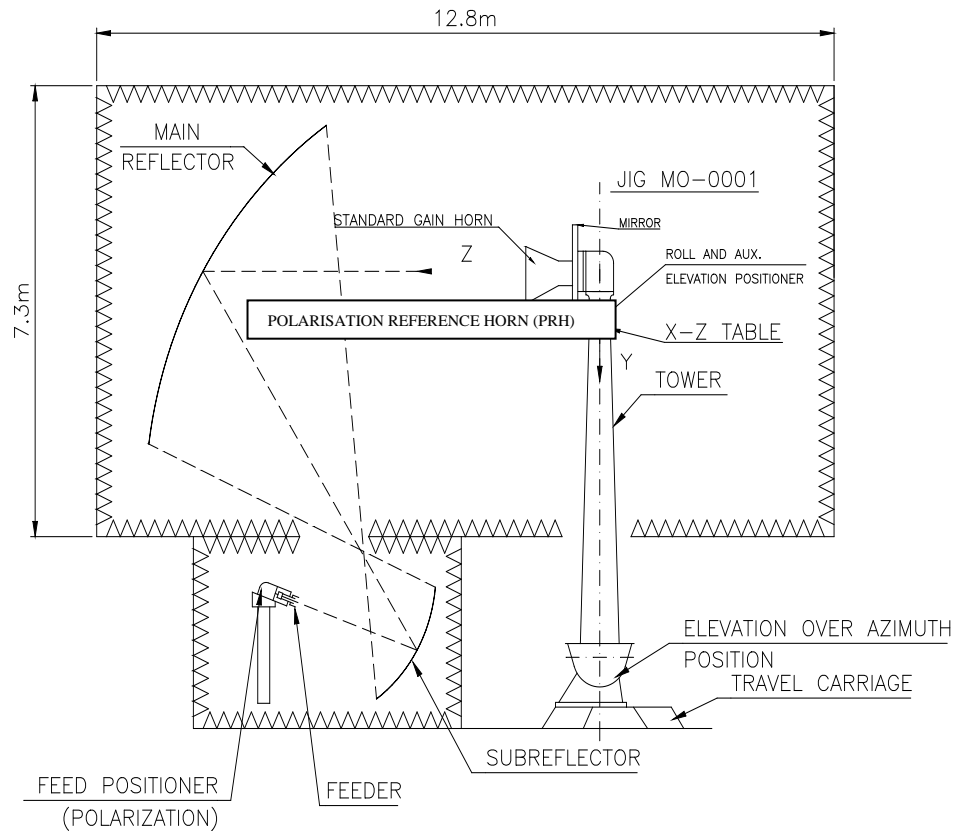


Figura 3.3.3.3.- Set Up de Medida de la Bocina de Referencia (PRH)

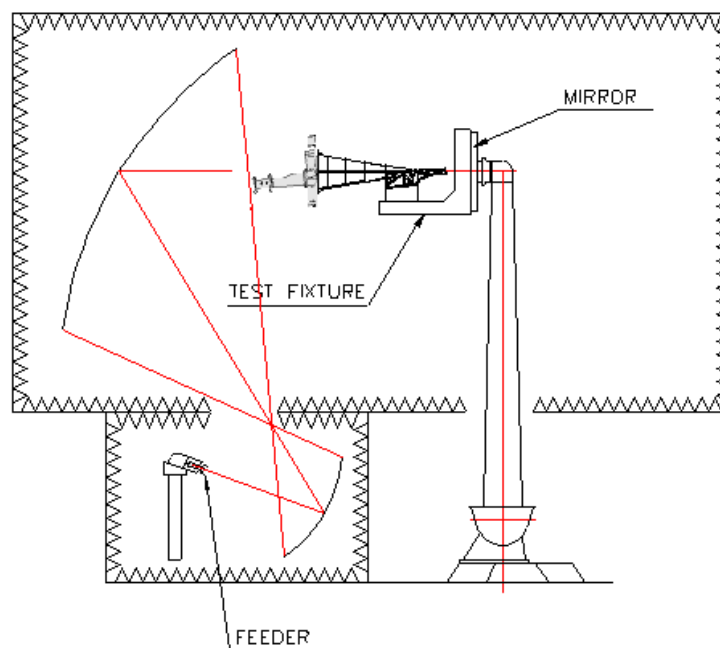


Figura 3.3.3.4.- Set Up de Medida de la Antena + Test Cap

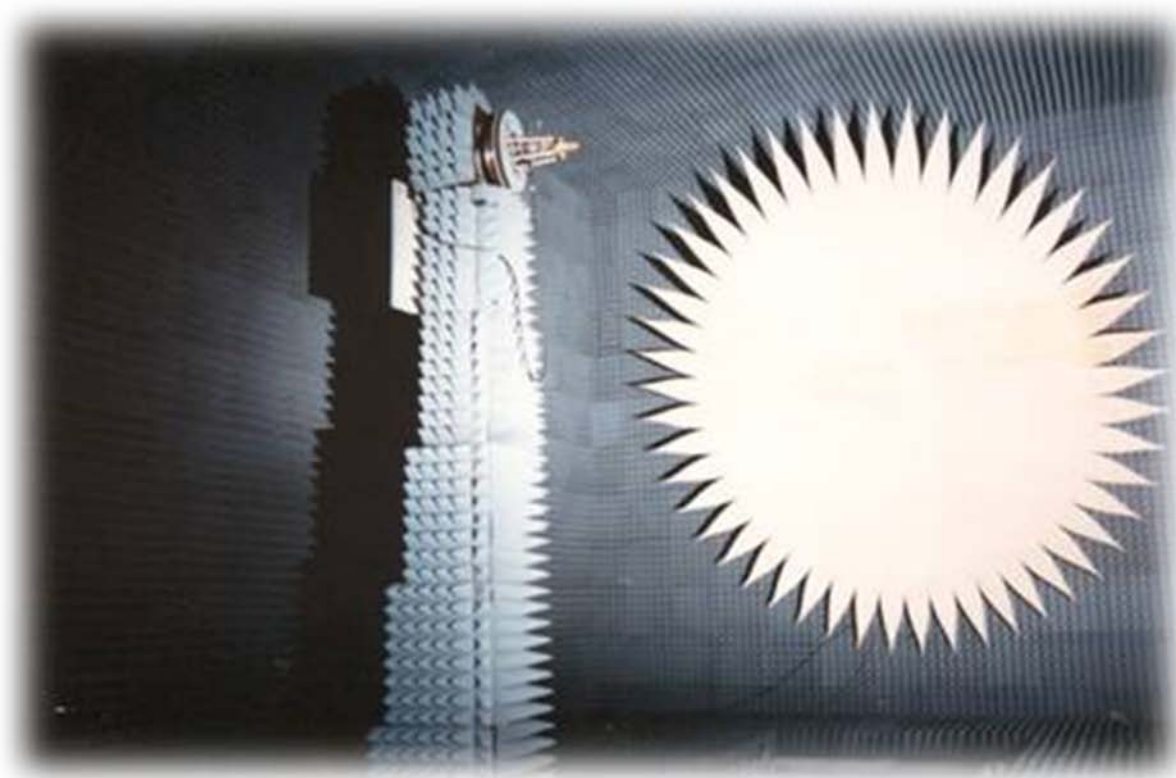


Figura 3.3.3.5.- Compact Range

3.4. Medidas

Para realizar las medidas de radiación en el Compact Range debemos tener en cuenta las siguientes características:

3.4.1. Localización del Eje de RF

Para las bocinas con una estructura de soporte es necesario recurrir a un útil de medida llamado espejo que nos permitirá colocar la antena en su posición correcta con mayor facilidad. Si no alineamos bien el eje de rotación o eje RF del posicionador con el de la antena, al realizar los barridos en ϕ el punto central no se quedaría fijo si no que trazaría círculos y la medida no sería correcta.

Para establecer el eje de RF de nuestra bocina es necesario referenciar éste respecto al eje del útil de medida. Así, que es necesario obtener las medidas de radiación del eje RF de la antena respecto al eje RF del Compact Range. Y finalmente, conectar este eje RF del Compact Range con el eje del útil de medida. La conexión entre el útil de medida y el eje RF (eje del espejo) se realiza mediante un método mecánico (medidas dimensionales en la D.E.A – Máquina de medidas Tridimensionales). La posición del útil respecto al espejo se establece mediante las medidas dimensionales y la repetitividad de la posición se comprueba montando y desmontando el útil del espejo y repitiendo las medidas. Usando fijas para guiar el montaje del útil sobre el espejo, se obtiene que la repetitividad es mejor de 0.01°

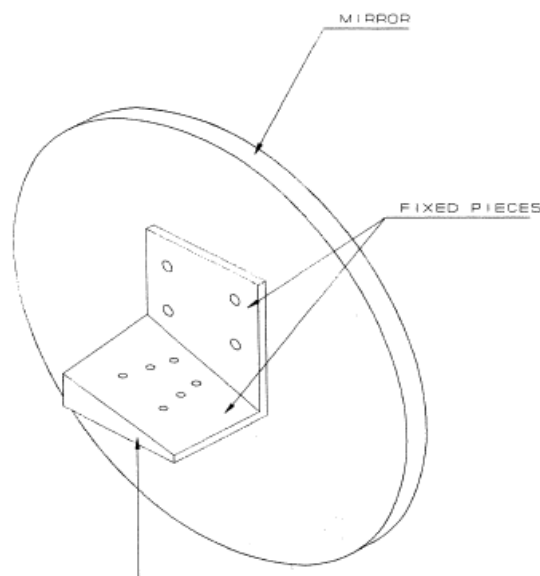


Figura 3.3.4.1.1.- Útil de Medida denominado espejo

3.4.2. Ganancia

La Ganancia de la Antena se mide mediante el método de comparación. Por tanto, significa que tenemos una antena de referencia perfectamente caracterizada y de la que conocemos todos sus parámetros eléctricos. Ofrece una seguridad en la medida de Ganancia de 0.2 dB. Los demás componentes del set up de medida de RF (cables, adaptadores, etc.) se miden en el laboratorio con un analizador de redes.

3.4.3. Diagramas de Radiación

Las medidas de los Diagramas de Radiación se realizan teniendo en cuenta:

- Frecuencias: Ver Test Plan
- Cortes: Ver Test Plan
- Tipo de diagramas: Ver Test Plan

3.4.4. Medidas de Polarización

Las medidas de polarización se realizan de acuerdo a:

- Frecuencias: Ver Test Plan

El resultado presentado es la diferencia de la posición del eje de polarización del posicionador entre la antena de referencia (PHR) y nuestra Bocina en la zona de mínimo campo en el Compact Range y con la fuente en la posición adecuada (SVP y SHP). Es decir, la medida se realiza con la señal contrapolar, por ser el nulo mucho más preciso y acentuado, resulta más fácil de analizar que el máximo de señal.

Los resultados son incluidos en el capítulo de Campaña de Ensayos.

3.4.5. Error de medida de polarización

El error total obtenido para la medida de polarización de las bocinas viene dado por:

3.4.5.1 Compact Range

Se obtiene rotando la bocina de referencia de 90° en 90° y analizando, con la fuente del Compact Range, la nueva posición del campo (Contrapolar).

Este error se elimina con la corrección que se aplica en la secuencia de test que hemos visto en el punto 3.2 (determinación de SHP y SVP).

3.4.5.2 Errores debidos a la estructura del soporte usado para fijar la antena al posicionador

Este error se puede producir por la repetición del proceso de montaje/desmontaje, que puede afectar al alineamiento de las piezas.

Para determinar este error, se llevaron a cabo numerosas pruebas de montaje/desmontaje de antenas, y se calculó que el error era de 0.06° . La misma operación se realizó con la antena de referencia (PRH) cuyo error es de 0.05° .

3.4.5.3 Error debido a la Antena de Referencia de Polarización (PRH)

Es definido como la sensibilidad del eje de polarización del posicionador cuando nos encontramos con el mínimo nivel de campo. Es decir, el ángulo de rotación necesario aplicar al eje de polarización del posicionador para detectar las variaciones de campo en el receptor.

El ángulo para el cual la señal es mínima se obtiene buscando el centro de los puntos que tienen el mismo nivel de señal en las pendientes (sin ser demasiado bajos los niveles para no confundir con el ruido).

Realizando la media de los diferentes valores, obtenemos un error de 0.05° . Este error debe ser tenido en cuenta dos veces, debido a que se realizan dos medidas durante el test (para la antena y la PRH).

3.4.5.4 Error debido al nivel de precisión

El nivel de precisión usado para el alineamiento de las antenas tiene una tolerancia de 0.001° .

3.4.5.5 Error introducido por la contrapolar de las antenas

La AUT (Antenna Under Test) y la PRH tienen una señal de contrapolar que produce una incertidumbre en la señal.

Sin embargo, debido al hecho que tanto la PRH como la AUT tienen niveles muy bajos de señal de contrapolar, el error asociado es despreciable.

Entonces, el error total del Test de Polarización es:

$$\begin{array}{l}
 0.05^\circ \text{ (Error B for PRH)} \\
 0.06^\circ \text{ (Error B for AUT)} \\
 0.05^\circ \text{ (Error C for PRH)} \\
 0.05^\circ \text{ (Error C for AUT)} \\
 0.001^\circ \text{ (Error D for PRH)} \\
 0.001^\circ \text{ (Error D for AUT)} \\
 \hline
 0.11^\circ \text{ TOTAL (RSS)}
 \end{array}$$

3.4.6. Medida de Ganancia

La medida de ganancia de las Antenas de Bocina se realiza mediante el método de comparación. Para este propósito, se utiliza una Bocina Estándar (SGH) que sirve como referencia. En el caso de Banda C, la Bocina Estándar es la misma que la Antena de Referencia utilizada para las medidas de polarización. El resto de componentes del set up se calibran en el laboratorio.

La ganancia del DUT (Device Under Test) se calcula de la siguiente manera:

$$G(D.U.T) = S(D.U.T) - S(SGH) + G(SGH) + L(D.U.T) - L(SGH) \quad (3.3.4.6)$$

Donde:

$G(D.U.T)$ = ganancia del D.U.T (dBi)

$S(D.U.T)$ = señal medida desde el set up del D.U.T (dB)

$S(SGH)$ = señal medida desde el set up del SGH (dB)

$G(SGH)$ = ganancia de SGH (dBi)

$L(D.U.T)$ = pérdidas en las conexiones desde el D.U.T a la salida RF del posicionador (dB)

$L(SGH)$ = pérdidas en las conexiones desde el SGH a la salida RF del posicionador (dB)

Nota: Los mismos cables RF y mezcladores deben ser usados para las medidas de ambas antenas (SGH y DUT)

Las medidas de ganancia se llevan a cabo con un alimentador de polarización lineal (vertical u horizontal). Esto es debido al hecho que el alimentador lineal dispone de una sola polarización determinada y que podemos controlar. Es decir, no podríamos medir una antena lineal con un alimentador circular, durante la primera medida, capturaríamos una componente y cuando rotáramos el DUT 90°, tendríamos la otra componente con lo que sería prácticamente la misma medida.

Cuando el DUT tiene polarización lineal tomamos dos valores:

- a) $SV(D.U.T) = \text{Señal medida del DUT en la posición inicial marcada por el cliente.}$
- b) $SH(D.U.T) = \text{Señal medida rotando el D.U.T } 90^\circ \text{ con respecto a la posición SV del DUT.}$

El alimentador se coloca con la misma polarización que el DUT. Con estos valores podemos calcular S (DUT) como:

$$S(D.U.T) = 10 \text{ Log } [(10(SH(D.U.T)/10) + 10(SV(D.U.T)/10))/2]$$

Y finalmente obtener G (DUT) de la expresión (3.3.4.6) indicada.

3.4.6.1 Errores de las Medidas de Radiación

En las siguientes tablas podemos ver los errores para las medidas de radiación en el Compact Range de:

- Componente Copolar
- Componente Contrapolar
- Ganancia

Los errores de las tablas se obtienen para diferentes niveles de señal (copolar, contrapolar) y pureza de polarización (Axial Ratio de la antena fuente).

• Banda de Frecuencias (3.95-5.8 GHz)

Error in copolar componet measurements

Axial ratio source antenna = 0.15

Reflections in Compact Range = -50

Copolar level (db)	Crosspol. level (db)	Uncert. due to sig inestb.	Uncert. due to receiver	Uncert. due to amp & ph taper	Uncert. due to reflect.	Uncert. due to ang errors	Uncert. due to Process	Uncert. due to crossp. source ant	Total Error (db)
0	-33.392	0.02	0.0816	0.02	0.000588	0.0019	0.01	0.0016	0.087
								-0.00161	0.087
-1.305	-34.282	0.02	0.0816	0.02	0.000617	0.0148	0.01	0.00168	0.0882
								-0.00168	0.0882
-2.272	-34.344	0.02	0.095	0.02	0.000684	0.0193	0.01	0.00187	0.1015
								-0.00187	0.1015
-4.16	-35.287	0.02	0.11	0.02	0.000763	0.0258	0.01	0.00208	0.1169
								-0.00208	0.1169
-16.547	-38.724	0.02	0.2	0.02	0.002138	0.0424	0.01	0.00584	0.2067
								-0.00584	0.2067
-44.417	-41.368	0.02	0.2	0.02	0.039106	0.0017	0.01	0.10589	0.2316
								-0.1072	0.2322
-50.1	-50.1	0.02	0.311	0.02	0.027511	0.237	0.01	0.07468	0.4002
								-0.07532	0.4003

Error in crosspolar componet measurements
 Axial ratio source antenna = 0.15
 Reflections in Compact Range = -50

Crosspolar level (dB)	Copolar level (dB)	Uncert. due to sig inestb.	Uncert. due to receiver	Uncert. due to amp & ph taper	Uncert. due to reflect.	Uncert. due to ang errors	Uncert. due to Process	Uncert. due to crossp. source ant	Total Error (dB)
-33.392	0	0.02	0.0816	0.02	1.38891	0.0019	0.01	2.94421	3.2565
								4.48769	-4.6985
-34.282	-1.305	0.02	0.0816	0.02	1.55296	0.0148	0.01	2.82691	3.2266
								4.21781	-4.4955
-34.344	-2.272	0.02	0.095	0.02	1.56515	0.0193	0.01	2.58481	3.0234
								3.6965	-4.0155
-35.287	-4.16	0.02	0.11	0.02	1.76409	0.0258	0.01	2.35123	2.9418
								3.23404	-3.6857
-38.724	-16.547	0.02	0.2	0.02	2.76959	0.0424	0.01	0.91381	2.9238
								1.02137	-2.9591
-41.368	-44.417	0.02	0.2	0.02	4.01552	0.0017	0.01	0.05264	4.0210
								0.05264	-4.0210
-50.1	-50.1	0.02	0.311	0.02	38.72624	0.237	0.01	0.07468	38.7283
								0.07532	-38.7283

Error in Gain measurements
 Polarization purity source antenna = -41.275

Reflections in Compact Range = -50

Error in SGH gain (db)	Uncer.due to difvswr DUT & SGH	Uncert. due to sig inestb.	Uncert. due to receiver	Uncert. due to amp & ph taper	Uncert. due to reflect.	Uncert. due to ang errors	Uncert. due to aux test	Uncert. due to crossp. source ant	Total Error (db)
0.2	0.09	0.02	0.0816	0.02	0.02751	0.0019	0.01	0.07156	0.2481
								-0.07215	0.2482

Tabla 3.3.4.6.1.1.- Tablas de Errores

4. PROCEDIMIENTO DE MEDIDAS EN CÁMARA

El objetivo del Test Termo-eléctrico es el de medir el impacto de las variaciones de temperatura en los parámetros de la Antena. Con este propósito, las Pérdidas de Retorno y el Aislamiento entre Puertos, serán medidos dentro de la Cámara Térmica de Vacío a temperaturas extremas.

Además de estas medidas, el Acoplo entre la Antena y el Test Cap será medido en un ciclo adicional para calibrar la respuesta en condiciones extremas.

El set up de medida para la Cámara difiere del usado para las medidas de laboratorio debido a que la calibración empleada está basada en el inventariado en dominio del tiempo. Este método se utiliza para eliminar las reflexiones de las paredes de la cámara durante la medida eléctrica.

El test permite comparar el comportamiento de la antena en condiciones ambiente frente a las temperaturas extremas usando el mismo set up.

El análisis de los resultados obtenidos permitirá establecer el estado de cumplimiento de la Antena respecto a los aspectos térmicos/eléctricos.

4.1. Secuencia de Medida de la Antena

4.1.1. Secuencia Principal del Ensayo

Preparación del Set Up del Test (Figuras 3.4.2.1/3.4.2.2)

Conectar los cables RF a las salidas RF de la parte interior de la cámara (Figuras 3.4.2.1/3.4.2.2) de la siguiente manera:

Puerto 1 de la antena (BC1) al puerto de salida 1

Puerto 2 de la antena (BC2) al puerto de salida 2

Puerto del Test Cap al Puerto de salida 3

Corto coaxial al Puerto de salida 5

Thru coaxial a los Puertos de salida 6 y 7

En nuestro caso, la terminación coaxial es SMA

Salvar las diferentes calibraciones necesarias para las medidas como vienen definidos en la secuencia TCAP-2.

Test Run en condiciones Ambiente.

Llevar a cabo siguiendo los pasos especificados en secuencia TCAP-3.

- *Comprobar que el set up del Test está montado como aparece en las figuras 3.4.2.1/3.4.2.2*
- *Cerrar la cámara y comenzar el ensayo*

Test Run i, (i= II to ...). *Cada test run corresponde a una temperatura. Todos estos test deben realizarse siguiendo los pasos de la secuencia TCAP-3.*

Test Run en Ambiente Final.

Llevar a cabo siguiendo los pasos especificados en secuencia TCAP-3.

Actividades Post Test:

- *Desmontar el set up de medida*
- *Evaluación de los Datos/Informe*

4.1.2. Secuencia TCAP-2

Calibración:

- Pulse el botón “preset”
- Introduzca en el N.A.:
 - Frecuencia de partida: mínimo valor de frecuencia dentro del rango operativo de la guía.
 - Frecuencia final: máximo valor de frecuencia dentro del rango operativo de la guía.
 - Escala: desde -50 a 0 dB
 - Número de puntos: 3201
 - Forma del gate: ancha

- Desconectar el cable de la Antena (o el Test Cap, según corresponda)
- Conectar un corto en el extremo libre del cable que previamente estaba conectado a:
 - port 1
 - port 3 (test cap)
 - port 2 (puerto 2 de la antena)
- Conectar el Puerto 1 del Analizador (N.A.) a la salida: 1
 - 3 (test cap)
 - 2 (puerto 2 de la antena)
- Introducir en el N.A.:
 - * Medida: S11
 - * Transform: ON
 - * Gate START: MAX
 - * Span: 600 mm
- Desconectar el corto del cable.
- Conectar el cable a la Antena (o el Test Cap)
- Colocar una placa metálica delante de la apertura de la bocina o un corto en el puerto del Test Cap para las Pérdidas de Retorno de los puertos de la Antena y un corto en los puertos de la Antena para el puerto del Test
- En el N.A.:
 - * Gate stop: Desplazar la marca final hasta situarla en el máximo de reflexión producida por la placa metálica, el corto del Test Cap o de los puertos de la Antena
 - * Gate: ON
 - * Transform: OFF
- Guardar las calibraciones como: RL1.csa (puerto 1 de la antena)
 - RL3.csa (if test cap port)
 - RL2.csa (puerto 2 de la antena)
- Poner el gate OFF en el N.A.
- Desconectar el Puerto 1 del N.A. de la salida RF: 1
 - 3 (if test cap)
 - 2 (if antenna two port)

Calibración del corto:

- Conectar el puerto 1 del N.A. a la salida RF 5.
- Introducir en el N.A.:
 - * Medida: S11
 - * Transform: ON
 - * Gate center: MAX.
 - * Span: 600 mm
 - * Gate: ON
 - * Transform: OFF
- Guardamos la calibración como corto.csa
- Desconectar el puerto 1 del N.A. de la salida RF 5.

Calibración del Aislamiento:

- Desconectar el cable del puerto 1 de la Antena.
- Desconectar el cable del puerto 2 de la Antena.
- Conectar los cables haciendo un lazo.
- Conectar el puerto 1 del N.A. a la salida RF 1
- Conectar el puerto 2 del N.A. a la salida RF 2
- Introducir en el N.A.:
 - * Medida: S21
 - * Transform: ON
 - * Gate start: MAX.
 - * Span: 600 mm
- Desconectar los cables y volver a conectar a la Antena
- Colocar una placa metálica delante de la apertura de la bocina o un corto en el puerto del Test Cap
- Introducir en el N.A.:
 - * Gate stop: Desplazar la marca final hasta situarla en el máximo de reflexión producida por la placa metálica, el corto del Test Cap
 - * Gate: ON
 - * Transform: OFF
- Guardamos la calibración como iso.csa

Calibración del thru:

- Conectar el puerto 1 del N.A. a la salida RF 6
- Conectar el puerto 2 del N.A. a la salida RF 7
- Introducir en el N.A.:
 - * Medida: S11
 - * Transform: ON
 - * Gate center: MAX.
 - * Span: 600 mm
 - * Gate: ON
 - * Transform: OFF
- Guardar la calibración como thru.csa
- Desconectar el N.A. de todas las salidas

Calibración del acoplo:

- Desconectar el cable de la Antena del puerto: 1 (puerto 1)
2 (puerto 2)
- Desconectar el cable del puerto del Test Cap
- Conectar los cables haciendo un lazo
- Conectar el puerto 1 del N.A. a la salida RF: 1 (puerto 1)
2 (puerto 2)
- Conectar el puerto 2 del N.A. a la salida RF 3
- Introducir en el N.A.:
 - * Medida: S21
 - * Transform: ON
 - * Gate start: MAX.
 - * Span: 600 mm
- Desconectar los cables y volver a conectar a la Antena
- Introducir en el N.A.:
 - * Gate stop: Desplazar la marca final hasta situarla en el máximo de reflexión producida por el corto.
 - * Gate: ON
 - * Transform: OFF
- Guardamos la calibración como: acoplo1.csa
acoplo2.csa

4.1.3. Secuencia TCAP-3

Medidas Estándar (Para calibración interna)

- Conectar el puerto 1 del N.A. a la salida RF 5
- Recargar la calibración corto.csa
- Guardar la medida S11
- Desconectar el puerto 1 del N.A. de la salida RF 5
-
- Conectar el puerto 1 del N.A. a la salida RF 6
- Conectar el puerto 2 del N.A. a la salida RF 7
- Recargar la calibración thru.csa
- Guardar la medida S21
- Desconectar el puerto 1 del N.A. de la salida RF 6
- Desconectar el puerto 2 del N.A. de la salida RF 7

TEST RUN i.1: Medida de Pérdidas de Retorno del Puerto 1 (BC1) de la Bocina

- Conectar el puerto 1 del N.A. a la salida RF 1
- Recargar la calibración RL1.csa
- Guardar la medida S11
- Desconectar el puerto 1 del N.A. de la salida RF 1

TEST RUN i.2: Medida de Pérdidas de Retorno del Puerto 2 (BC2) de la Bocina

- Conectar el puerto 1 del N.A. a la salida RF 2
- Recargar la calibración RL2.csa
- Guardar la medida S11
- Desconectar el puerto 1 del N.A. de la salida RF 2

TEST RUN i.3: Medida de Pérdidas de Retorno del Puerto del Test Cap

- Conectar el puerto 1 del N.A. a la salida RF 3
- Recargar la calibración RL3.csa
- Guardar la medida S11
- Desconectar el puerto 1 del N.A. de la salida RF 3

TEST RUN i.4: Aislamiento entre puertos de la Antena

- Conectar el puerto 1 del N.A. a la salida RF 1
- Conectar el puerto 2 del N.A. a la salida RF 2
- Recargar la calibración iso.csa
- Guardar la medida S21
- Desconectar el puerto 1 del N.A. de la salida RF 1
- Desconectar el puerto 2 del N.A. de la salida RF 2

Test Run i.5: Acoplo entre el puerto 1 de la Antena (BC1) y el Test Cap

- Conectar el puerto 1 del N.A. a la salida RF 1
- Conectar el puerto 2 del N.A. a la salida RF 3
- Recargar la calibración acoplo1.csa
- Guardar la medida S21
- Desconectar el puerto 1 del N.A. de la salida RF 1
- Desconectar el puerto 2 del N.A. de la salida RF 3

Test Run i.6: Acoplo entre el puerto 2 de la Antena (BC2) y el Test Cap

- Conectar el puerto 1 del N.A. a la salida RF 2
- Conectar el puerto 2 del N.A. a la salida RF 3
- Recargar la calibración acoplo2.csa
- Guardar la medida S21
- Desconectar el puerto 1 del N.A. de la salida RF 2
- Desconectar el puerto 2 del N.A. de la salida RF 3

Análisis de los resultados obtenidos

4.2. Set up de Medidas en Cámara Térmica de Vacío

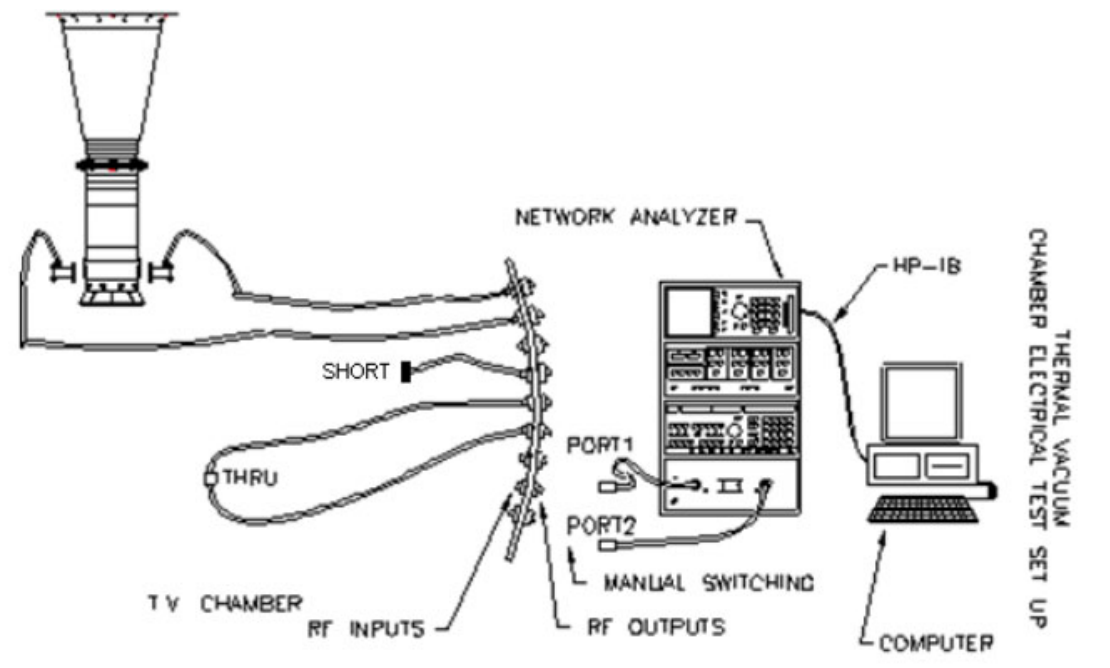


Figura 3.4.2.1.- Set Up general de Medida en Cámara

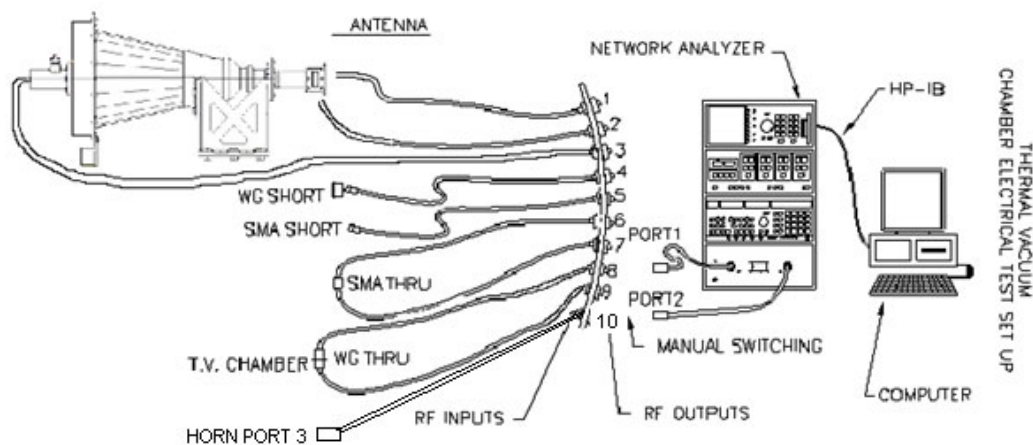


Figura 3.4.2.2.- Set Up general de Medida en Cámara con Test Cap

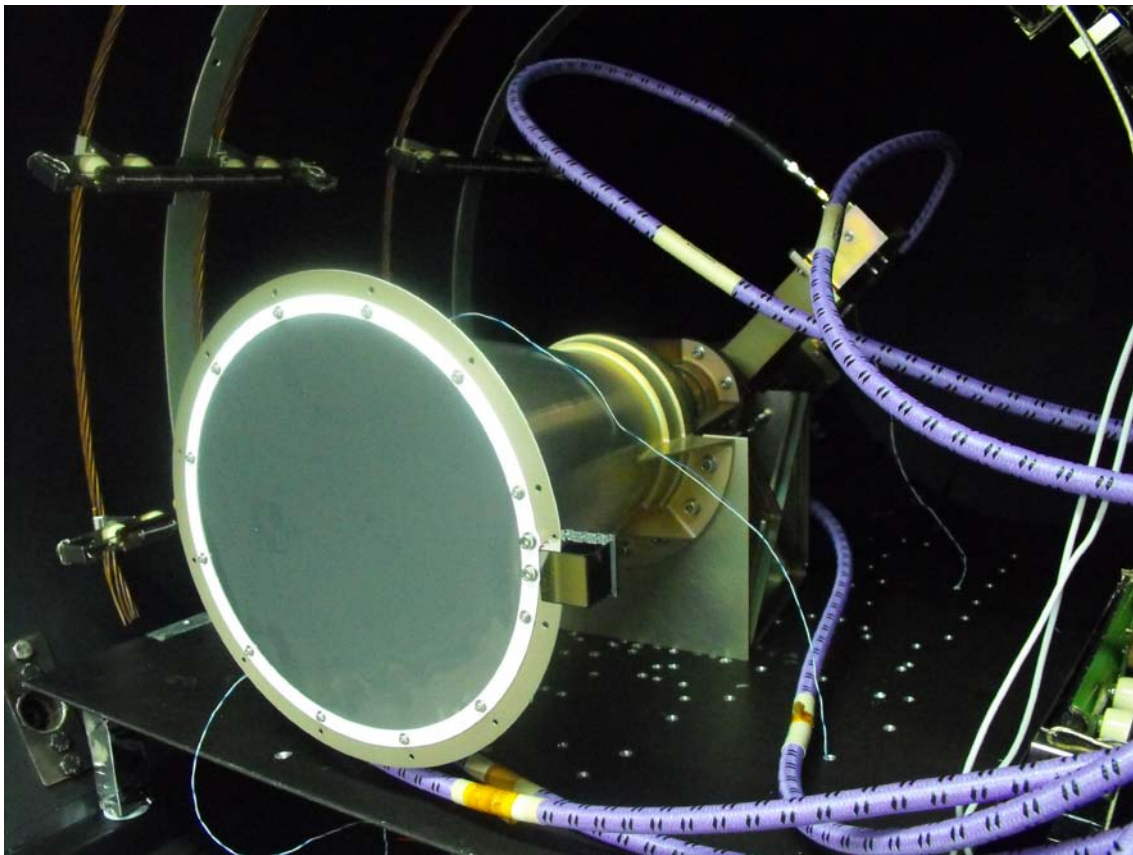


Figura 3.4.2.3.- Foto del Set Up de Cámara

CAPÍTULO 4. TEST PLAN

1. INTRODUCCIÓN

Además de los requisitos de la Antena y los procedimientos de medida, RYMSA y el cliente acuerdan la Campaña de Ensayos a los que se va a someter el equipo, dependiendo del presupuesto y las necesidades del cliente, se realizan más o menos test dentro de la campaña.

El propósito de este Test Plan es dar unas directrices para los ensayos de la Antena, que son:

- Parámetros a medir
- Secuencia de los Test
- Matriz de Ensayos
- Ensayos Ambientales
- Principales objetivos y requerimientos de los Test
- Breve descripción de los métodos de ensayo

La Campaña de Ensayos se realiza con el objetivo de comprobar el correcto funcionamiento del equipo una vez esté integrado en el satélite y sometido a condiciones extremas durante el vuelo.

2. DESCRIPCIÓN DE LOS OBJETIVOS Y REQUERIMIENTOS DE LOS TEST

El objetivo final de la Campaña de Ensayos es el de chequear y verificar que nuestra Antena esté lista para su uso en vuelo dentro de unos riesgos controlados.

Para alcanzar esa meta, la fase de ensayos es la siguiente:

1. Verificar que nuestra Antena se ha fabricado según los estándares de vuelo.
2. Verificar su comportamiento eléctrico.
3. Verificar que cumple con los requisitos del cliente.

Debido a que nuestra Antena es un modelo PFM (ProtoFlight Model), es necesario que sea sometida a unos ensayos ambientales y eléctricos de nivel de prototipo. Estos requerimientos son más duros que si se tratará solo de un FM (Flight Model), pues es el primer equipo de su clase preparado para el vuelo y por tanto hay que verificar que puede superar unas condiciones más extremas de las que pueden darse para tener margen.

3. MATRIZ DE ENSAYOS

Esta matriz determina que orden van a seguir los ensayos y que parámetros se van a estudiar en cada uno de ellos.

**C-Band Beacon Horn
TEST MATRIX**

C-Band Beacon Horn TEST MATRIX	Nº				1	2	3	3	3	4	5	6	7	8	9	10		
	REQUERIMIENTOS	INSPECCIÓN VISUAL	DIMENSIONES FÍSICAS	MASA	PÉRDIDAS DE RETORNO	POLARIZACIÓN	DIAGRAMAS DE RADIACIÓN	CROSSPOLAR DISCRIMINATION	GAIN SLOPE	AISLAMIENTO ENTRE PUERTOS	PÉRDIDAS DE RETORNO DEL TEST CAP	ACOPLO DEL TEST CAP	PÉRDIDAS DE RETORNO DE LA ANTENA CON TEST CAP	GANANCIA DE LA ANTENA CON TEST CAP	ESD	GANANCIA FUERA DE BANDA	OPERATING	NON OPERATING
MASS PROP.				X														X
INITIAL INSP.		X	X															X
INITIAL PERFORM.					X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X	
VIBRATION SURVEY																		X
SINE VIB. TEST																		X
VIBRATION SURVEY																		X
RANDOM VIB. TEST																		X
VIBRATION SURVEY																		X
POST VIB.					X					X							X	
THERM. VAC. (2)					X					X	X	X(1)	X				X	
FINAL PERFORM.					X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	
FINAL INSP.		X																X

Tabla 4.3.1.- Matriz de Ensayos

(1): Calibración cada 30°C.

(2): 8 ciclos, a niveles PFM, con medidas de RF en el 1º y 8º ciclos, en ambas estabilizaciones: caliente y frío. Un ciclo adicional con el Test Cap puesto para realizar la calibración cada 30°C.

4. DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS DE ENSAYO ELÉCTRICOS

4.1. Descripción de los Test

En la siguiente tabla podemos observar los Test que se deben realizar según la matriz y su referencia a los puntos anteriores de este capítulo donde se describía su realización.

<i>Test No.</i>	<i>Test</i>
1	<i>Pérdidas de Retorno (en Laboratorio)</i>
1	<i>Pérdidas de Retorno (en TVC)</i>
2	<i>Desviación de la Polarización</i>
3	<i>Ganancia Diagramas de Radiación</i>
4	<i>Aislamiento entre Puertos</i>
5	<i>Pérdidas de Retorno del Test Cap</i>
6	<i>Acoplo entre Antena y Test Cap</i>
7	<i>Pérdidas de Retorno de la Antena con Test Cap</i>
8	<i>Ganancia de la Antena con Test Cap</i>
9	<i>ESD</i>
10	<i>Ganancia fuera de Banda</i>

Tabla 4.4.1.1.- Descripción de los Ensayos

4.2. Medidas de los Diagramas de Radiación

Las frecuencias y los cortes a realizar durante las medidas de radiación se muestran en la siguiente tabla:

	<i>Frecuencias (MHz)</i>	<i>Cortes en Phi</i>	
		<i>Phi (°)</i>	<i>θ (°)</i>
INICIAL	<i>F1: 3947 MHz F2: 4500 MHz</i>	<i>0, 45, 90, 135</i>	<i>±180</i>
FINAL	<i>F1: 3947 MHz F2: 4500 MHz</i>	<i>0, 45, 90, 135</i>	<i>±180</i>

Tabla 4.4.2.1.- Parámetros de Radiación

	<i>Frecuencias (MHz)</i>	<i>Cortes en Phi</i>	
		<i>Phi (°)</i>	<i>θ (°)</i>
GANANCIA FUERA DE BANDA	<ul style="list-style-type: none"> • <i>3.625 GHz to 4.800 GHz dBi</i> • <i>5.850 GHz to 7.025 GHz dBi</i> • <i>10.950 GHz to 12.700 GHz dBi</i> • <i>13.750 GHz to 14.500 GHz dBi</i> • <i>17.300 GHz to 17.800 GHz dBi</i> 	<i>0</i>	<i>0</i>

Tabla 4.4.2.2.- Ganancia fuera de Banda

4.3. Medidas de Laboratorio

Los parámetros con los que se tiene que realizar la medida en el Analizador de Redes es:

	<i>Rango de Frecuencias (GHz)</i>	<i>Número de Puntos</i>
C-Band Antenna	<i>3.75 to 4.7</i>	<i>3201</i>

Tabla 4.4.3.1.- Parámetros de Laboratorio

5. ENSAYOS AMBIENTALES

5.1. Test de Vibración

El Ensayo de Vibración tendrá lugar tras las medidas iniciales. Para realizar el test disponemos de los siguientes equipos:

<i>EQUIPO DE VIBRACIÓN</i>	
<i>Shaker & Slip table</i>	<i>Model: Gearing & Watson V3534/DSA4-32K</i> <i>Sine force peak: 35585 N</i> <i>Random force rms: 35585 N</i> <i>Maximum velocity peak: 1.8 m/s</i> <i>Maximum acceleration peak: 120 g</i> <i>Maximum displacement: 50.1 mm</i>
<i>Amplifier</i>	<i>Model: DSA4</i>
<i>Signal conditioning & Data acquisition</i>	<i>Power supply model: KISTLER 5148</i> <i>Accelerometers models:</i> <i>KISTLER 8704B500</i> <i>KISTLER 8763A500</i> <i>Data acquisition model: VXI – E1432A</i>

Tabla 4.5.1.1.- Características del Equipo de Vibración



Figura 4.5.1.2.- Equipo de Vibración

Durante el desarrollo del ensayo dispondremos de 3 acelerómetros tri-axiales de medida que serán los encargados de recoger los datos de la vibración en los tres ejes. Además, dispondremos de otros 2 acelerómetros mono-axiales de control para monitorizar la señal de entrada.

La colocación de los acelerómetros en nuestra Antena será la siguiente:

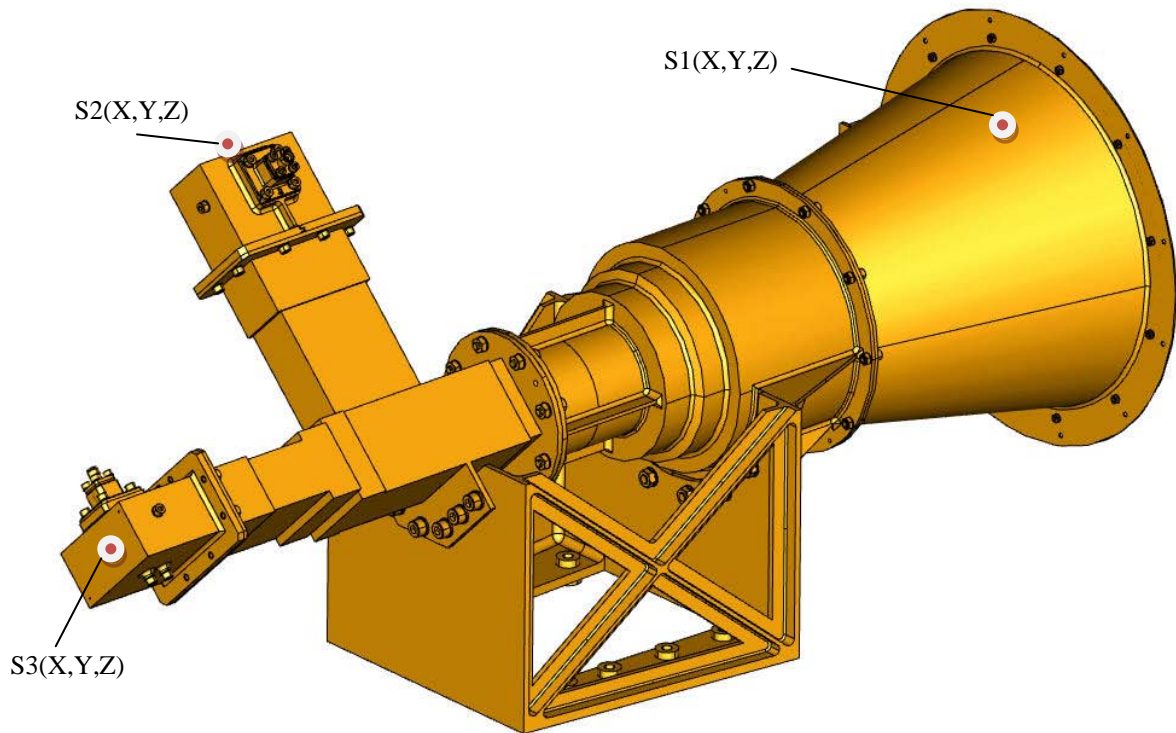


Figura 4.5.1.3.- Localización de los Acelerómetros

5.1.1. Niveles de los Ensayos

Los niveles de vibración que debe de soportar nuestra Antena vienen especificados por el cliente. Es el cliente, tras realizar el estudio a nivel satélite, el que marca los valores del Ensayo de Vibración, por lo que se pueden considerar un requisito más de la misma manera que los parámetros eléctricos.

5.1.1.1 Modal Survey Test

<i>Ejes</i>	<i>Frecuencia (Hz)</i>	<i>Nivel (g)</i>	<i>Sweep rate</i>
<i>Todos</i>	<i>10-2000</i>	<i>0.5</i>	<i>2 oct./min</i>

Tabla 4.5.1.1.1.- Niveles del Modal Survey Test

5.1.1.2 Protoflight Sine Vibration Test

EJES PERPENDICULARES		
RANGO (Hz)	NIVEL	Sweep rate (oct./min)
5-21	11 mm (o- peak)	2
21-30	20 g	
30-70	20g-70g (slope)	
70-100	70 g	
EJES PARALELOS		
RANGO (Hz)	NIVEL	Sweep rate (oct./min)
5-21	11 mm (o- peak)	2
21-30	20 g	
30-70	20g-50g (slope)	
70-100	50 g	

Tabla 4.5.1.1.2.1.- Niveles del Protoflight Sine Test

5.1.1.3 Quasistatic Test

<i>Ejes</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>
<i>Niveles (g)</i>	<i>50</i>		
		<i>70</i>	
			<i>50</i>

Tabla 4.5.1.1.3.1.- Niveles del Quasistatic Test

5.1.1.4 Protoflight Random Vibration Test

Perpendicular al plano de montaje			
RANGO (Hz)	NIVEL	DURACIÓN (min/eje)	OVERALL (g RMS)
20 - 40	+11.2 dB/oct	1	29.5
40-250	2 g2/Hz		
255-500	0.5 g2/Hz		
500.1-1000	0.3 g2/Hz		
1000-2000	-4.8 dB/oct		
Paralelo al plano de montaje			
RANGO (Hz)	NIVEL	DURACIÓN (min/eje)	OVERALL (g RMS)
10 - 80	+4.0 dB/oct	1	12.8
80-1000	0.1 g2/Hz		
1000-2000	-3.0 dB/oct		

Tabla 4.5.1.1.4.1.- Niveles del Protoflight Random Test

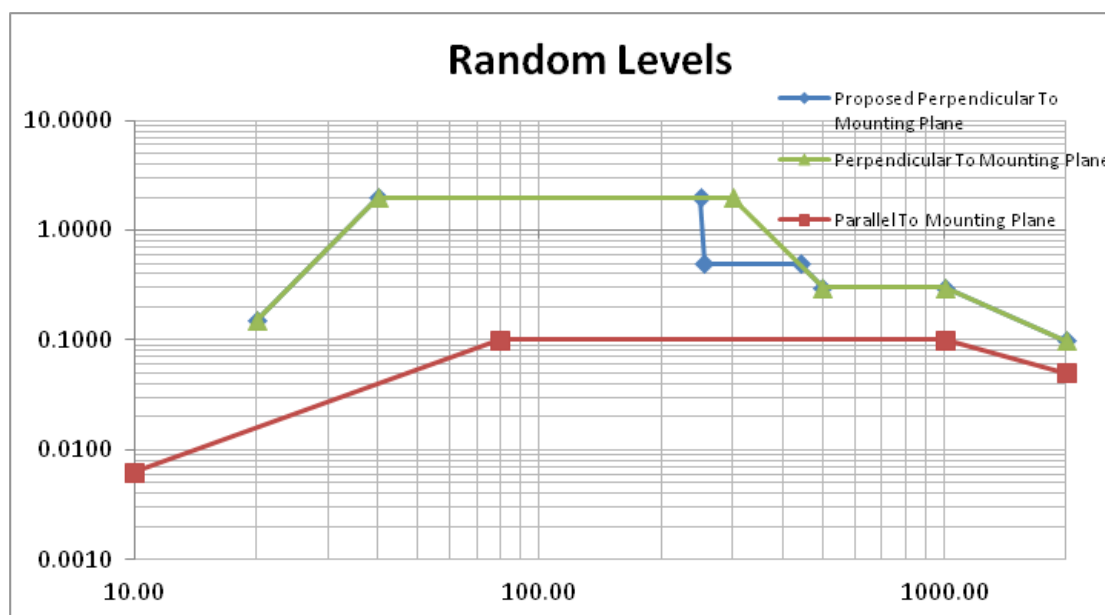


Figura 4.5.1.1.4.1.- Niveles de Random

5.1.2. Secuencia de Test

<i>SECUENCIA DE TEST</i>		
<i>Run Nr</i>	<i>Especificación</i>	<i>Observaciones</i>
<i>I – Y</i>	<i>Sine Survey 0.5 g</i>	<i>Test de Referencia</i>
<i>II – Y</i>	<i>Quasi Static & Sine test</i>	
<i>III – Y</i>	<i>Sine Survey 0.5 g</i>	<i>Test Control 1</i>
<i>IV – Y</i>	<i>Random test</i>	
<i>V – Y</i>	<i>Sine Survey 0.5 g</i>	<i>Test Control 2</i>
<i>VI – X</i>	<i>Sine Survey 0.5 g</i>	<i>Test de Referencia</i>
<i>VII – X</i>	<i>Quasi Static & Sine test</i>	
<i>VIII – X</i>	<i>Sine Survey 0.5 g</i>	<i>Test Control 1</i>
<i>IX – X</i>	<i>Random test</i>	
<i>X – X</i>	<i>Sine Survey 0.5 g</i>	<i>Test Control 2</i>
<i>XI – Z</i>	<i>Sine Survey 0.5 g</i>	<i>Test de Referencia</i>
<i>XII – Z</i>	<i>Quasi Static & Sine test</i>	
<i>XIII – Z</i>	<i>Sine Survey 0.5 g</i>	<i>Test Control 1</i>
<i>XIV – Z</i>	<i>Random test</i>	
<i>XV – Z</i>	<i>Sine Survey 0.5 g</i>	<i>Test Control 2</i>

Tabla 4.5.1.2.1.- Secuencia del Ensayo

5.1.3. Criterios de éxito

Se considera satisfactorio el Ensayo de Vibración si concurren los siguientes sucesos:

- La desviación de las frecuencias propias debe ser menor al 5% y la variación en la amplitud menor al 50% entre los senos de control.
- Realizar una inspección visual durante todo el Ensayo y no encontrar ningún cambio.

5.2. Test de Cámara Térmica de Vacío

Este ensayo tiene dos vertientes, el Test Ambiental y el Test Eléctrico. El Test Ambiental es la parte mecánica del ensayo, se realizan los ciclos de temperatura y vacío con el fin de observar el comportamiento del equipo como estructura al ser sometido al choque térmico. Los objetivos de este ensayo son de vital importancia, no sólo por comprobar que la estructura no sufre daños que puedan verse agravados por las dilataciones y contracciones sufridas en la cámara, sino también, porque es muy importante que éstas se produzcan por primera vez antes del comienzo de la vida útil del equipo, con el fin de que las piezas se asienten definitivamente. Normalmente es posible observar este fenómeno en el comportamiento de los equipos, tras el primer ciclo, varía ligeramente respecto de la inicial.

Para realizar el test disponemos de los siguientes equipos:

THERMAL VACUUM TEST EQUIPMENT N°. 2	
TVAC Chamber	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Model: ANGELANTONI HVT1000LN2 ▪ Volume: Ø800x800 mm ▪ Temperature range: -140 °C / +160°C
Programmer controller & Recorder	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Model: WINKRATOS 3.20.01 ▪ Specific software: WINKRATOS ▪ Possibility of processing up to 25 temperature signals ▪ Time data acquisition: every 20 seconds
Pressure gauge	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Model: LEYBOLD ITR100 ▪ Pressure range: 5×10^{-6} mbar / 5×10^{-2} mbar
Thermocouples	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Type T

Tabla 4.5.2.1.- Características de la Cámara Térmica de Vacío



Figura 4.5.2.1.- Foto de la Cámara Térmica de Vacío



Figura 4.5.2.2.- Foto de la Cámara Térmica de Vacío

Durante la realización del Ensayo, dispondremos de 3 termopares que serán los encargados de registrar las temperaturas que alcanzan las diferentes partes de la Antena. Estos termopares se colocarán de la siguiente manera:

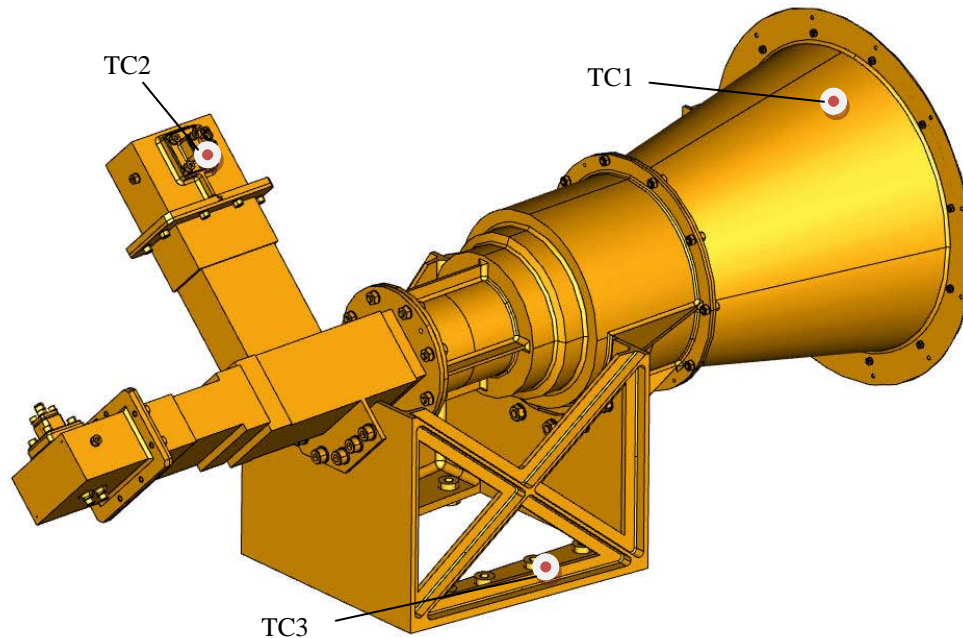


Figura 4.5.2.3.- Localización de los termopares sobre la C-Band Global Horn

5.2.1. Niveles del Ensayo

Al igual que los niveles de la vibración, las temperaturas a las que debe ensayarse nuestra Antena vienen determinadas por los requisitos del cliente. Estas temperaturas las obtenien tras el estudio a nivel satélite de las condiciones que puede llegar a sufrir nuestra antena.

Los ciclos y temperaturas a las que debemos someter a nuestra Antena son:

<i>Equipo</i>	<i>Ciclos</i>	<i>Temperatura</i>	<i>Presión</i>	<i>Tiempo Estabilización</i>
<i>Antena</i>	<i>8</i>	Operating <ul style="list-style-type: none"> • $TFQ_{max} = +118\text{ }^{\circ}\text{C}$ • $TFQ_{min} = -127\text{ }^{\circ}\text{C}$ 	<i>Vacío</i> $\leq 1.33 \times 10^{-5}$ <i>mbar</i>	<i>2 horas cada estabilización</i>
<i>Antena + Test Cap</i>	<i>1</i>	Operating <ul style="list-style-type: none"> • $TFQ_{max} = +118\text{ }^{\circ}\text{C}$ • $TFQ_{min} = -127\text{ }^{\circ}\text{C}$ 	<i>Vacío</i> $\leq 1.33 \times 10^{-5}$ <i>mbar</i>	<i>2 horas cada estabilización</i>

Tabla 4.5.2.1.1.- Temperaturas de Cámara Térmica de Vacío

Las tolerancias del ensayo son:

<i>Rango de medidas</i>	<i>Tolerancias</i>
<i>Temperatura del Test:</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Caliente:</i> • <i>Frío:</i> 	$+3, -0\text{ }^{\circ}\text{C}$ $+0, -3\text{ }^{\circ}\text{C}$
<i>Presión:</i>	$\pm 5\%$ or 1.5 mm Hg
<i>Duración:</i>	$+5/-0\%$

Tabla 4.5.2.1.2.- Tolerancias del Ensayo

6. CONDICIONES DE TEST

6.1. Condiciones del Laboratorio

Las condiciones estándar son:

- Temperatura: $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$
- Humedad Relativa: menor que 65%
- Presión: Positiva
- Número de partículas: $0.5 \mu\text{m} < 100.000$

En caso de las medidas de Pérdidas de Retorno y Aislamiento entre Puertos, se coloca material absorbente delante de la apertura de la Antena, con el fin de evitar reflexiones.

Las condiciones del Test dentro de la Cámara Térmica de Vacío son las siguientes:

- Presión: menor que $1,33 \times 10^{-5}$ mbar.
- Temperatura: La temperatura de cada ciclo, el período mínimo de cada estabilización y los puntos de medida de los termopares, estarán dados por el Test Plan

6.2. Equipos de Ensayos

Los equipos de medida del Laboratorio y del Compact Range, así como los kits de calibración, Cámaras de Vacío y equipos de Vibración, son calibrados periódicamente, al menos, una vez al año.

<i>EQUIPO</i>	<i>FABRICANTE</i>	<i>MODELO</i>	<i>CALIBRACIÓN HASTA</i>
<i>ACELERÓMETRO TRIAXIAL</i>	<i>KISTLER</i>	<i>8763A500</i>	<i>ENE 2014</i>
<i>ACELERÓMETROS DE CONTROL</i>	<i>KISTLER</i>	<i>8704B500</i>	<i>SEP 2013</i>
<i>AMPLIFIER</i>	<i>KISTLER</i>	<i>5148</i>	<i>MAR 2014</i>
	<i>KISTLER</i>	<i>5148</i>	<i>MAR 2014</i>
<i>VXI</i>	<i>AGILENT</i>	<i>E1432A</i>	<i>MAR 2014</i>
<i>CÁMARA TÉRMICA DE VACÍO</i>	<i>ANGELANTONI</i>	<i>HVT1000LN2</i>	<i>JUL 2014</i>
<i>SENSOR DE PRESIÓN</i>	<i>LEYBOLD</i>	<i>ITR100</i>	<i>FEB 2014</i>
<i>ANALIZADOR DE REDES</i>	<i>AGILENT</i>	<i>N5230A</i>	<i>MAY 2014</i>
<i>ANALIZADOR DE REDES</i>	<i>AGILENT</i>	<i>N5230A</i>	<i>APR 2014</i>
<i>COMPACT RANGE</i>	<i>HP ORBIT</i>	<i>8511A,8530A,8350B,8340B AL-4706-3A, AL-4103-23</i>	<i>JAN 2014</i>
<i>SMA CALIBRATION KIT</i>	<i>AGILENT</i>	<i>85052 D</i>	<i>FEB 2014</i>

Tabla 4.6.2.1.- Tabla de Calibraciones de los Equipos de Ensayo

CAPÍTULO 5. CAMPAÑA DE ENSAYOS

1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se presentan los resultados eléctricos y ambientales obtenidos en la caracterización de nuestra antena C-Band Global Horn.

Una vez que la antena ya está fabricada y los test y procedimientos han quedado determinados, es el momento de realizar la Campaña de Ensayos. Es durante esta fase cuándo podremos comprobar que nuestra antena se ajusta a lo que hemos diseñado y realmente cumple con las especificaciones marcadas por el cliente.

Para ello, procederemos a realizar todos los ensayos y medidas vistos en el Test Plan y tal y como marcan los procedimientos. De esta manera, tendremos la certeza de que nuestro equipo no sólo funciona perfectamente, sino que su comportamiento eléctrico y mecánico está asegurado en todos los ensayos futuros del cliente y durante toda su vida útil en el satélite.

Además de para los resultados mencionados anteriormente, es importante señalar que esta campaña se realiza para caracterizar la Antena por completo y en todas las situaciones a las que puede verse expuesta.

Los resultados incluidos en este capítulo son, medidas iniciales (antes de los tests de vibración), tests de vibración, medidas post-vibración, medidas durante los ciclo térmicos en vacío y el ciclo adicional con Test Cap, medidas finales y medidas de ESD (después de los ensayos ambientales).

2. MEDIDAS INICIALES

Las medidas iniciales tienen un doble objetivo. Por un lado, nos sirven para comprobar que el diseño y la implementación de éste han sido correctos, para ello debemos comprobar que las medidas reales obtenidas están en sintonía con las obtenidas en las simulaciones y acorde a lo que cabía esperar.

Por otro lado, y tal vez más importante, es que nos servirán de referencia para el resto de la campaña. Según vayamos avanzando en la campaña y se realicen los ensayos, procederemos con más medidas, y debemos comprobar que estas medidas están acorde con las medidas iniciales y que por tanto, nuestra antena es estable y su respuesta no cambia al realizar los distintos ensayos.

Las medidas iniciales se dividen en:

- Medidas de Laboratorio
- Medidas de Radiación

2.1. Medidas Iniciales de Laboratorio

Para contrarrestar las posibles interferencias y resonancias que se pueden generar en el laboratorio, se procede a colocar material absorbente delante de la apertura de la antena, además, se coloca una carga en los puertos que no se están midiendo en ese momento.

Los resultados mostrados a continuación llevan incluidos en la especificación los márgenes por las temperaturas extremas (representado como $\text{Template}+T$).

Las medidas realizadas sobre la antena son, Pérdidas de Retorno y Aislamiento entre Puertos.

2.1.1. Presentación de Resultados

Las siguientes figuras muestran los resultados de la antena:

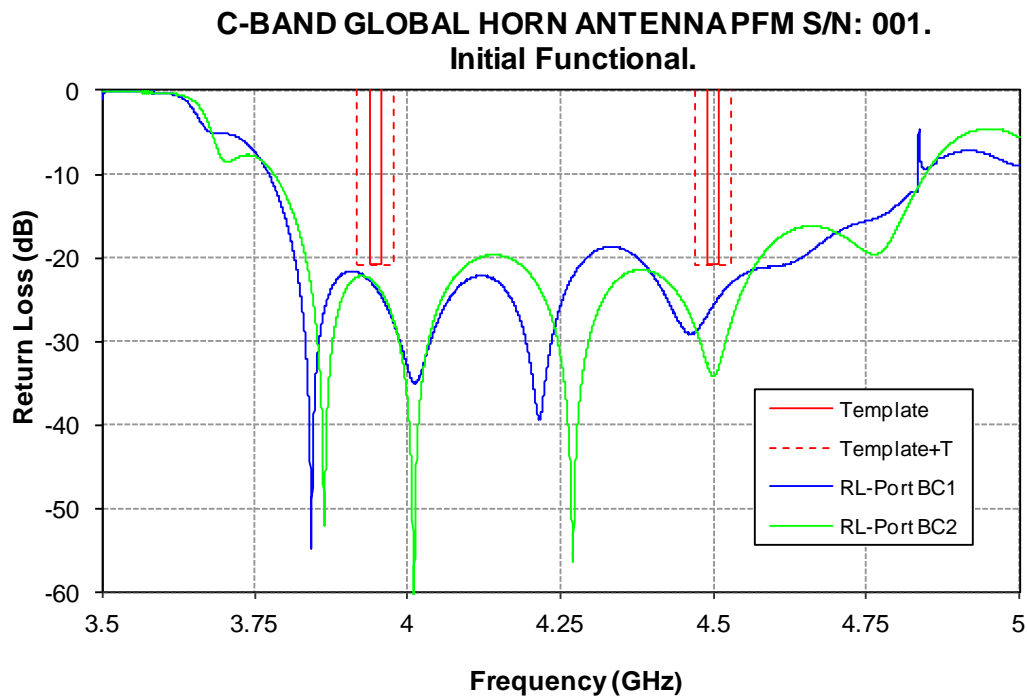


Figura 5.2.1.1.1.- Pérdidas de Retorno. Medidas Iniciales.

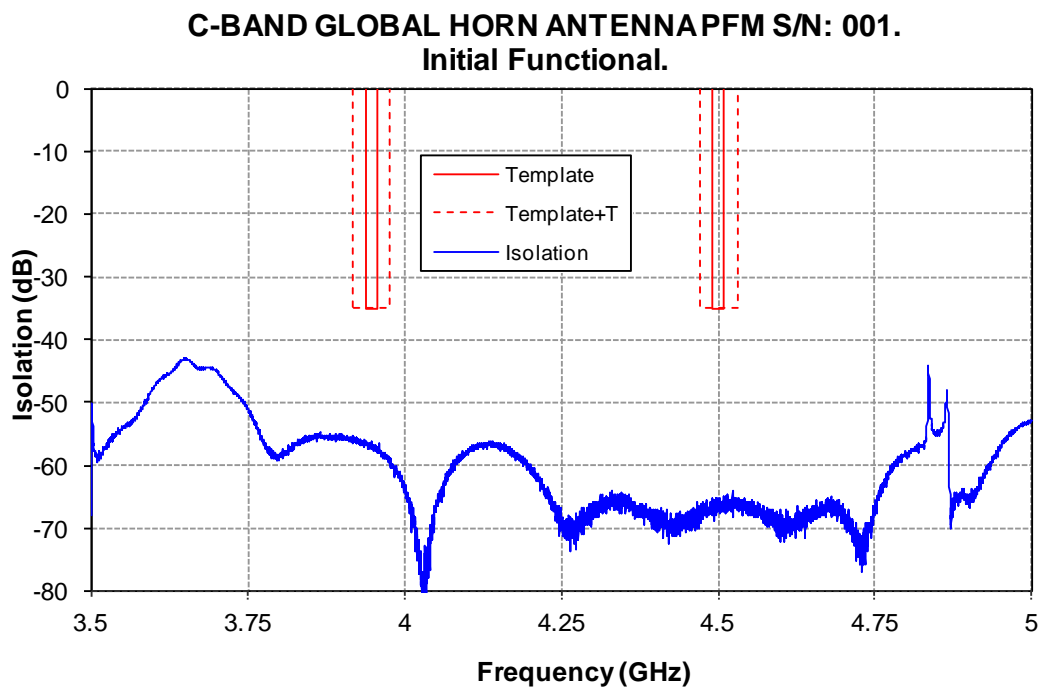


Figura 5.2.1.1.2.- Aislamiento entre Puertos. Medidas Iniciales.

Las medidas realizadas sobre la Antena con el Test Cap son, Pérdidas de Retorno de los puertos de la Antena, Pérdidas de Retorno del puerto del Test Cap, Acoplo entre los puertos de la Antena y el Test Cap y Aislamiento entre Puertos de la Antena.

A continuación, se muestran los resultados de la Antena y el Test Cap:

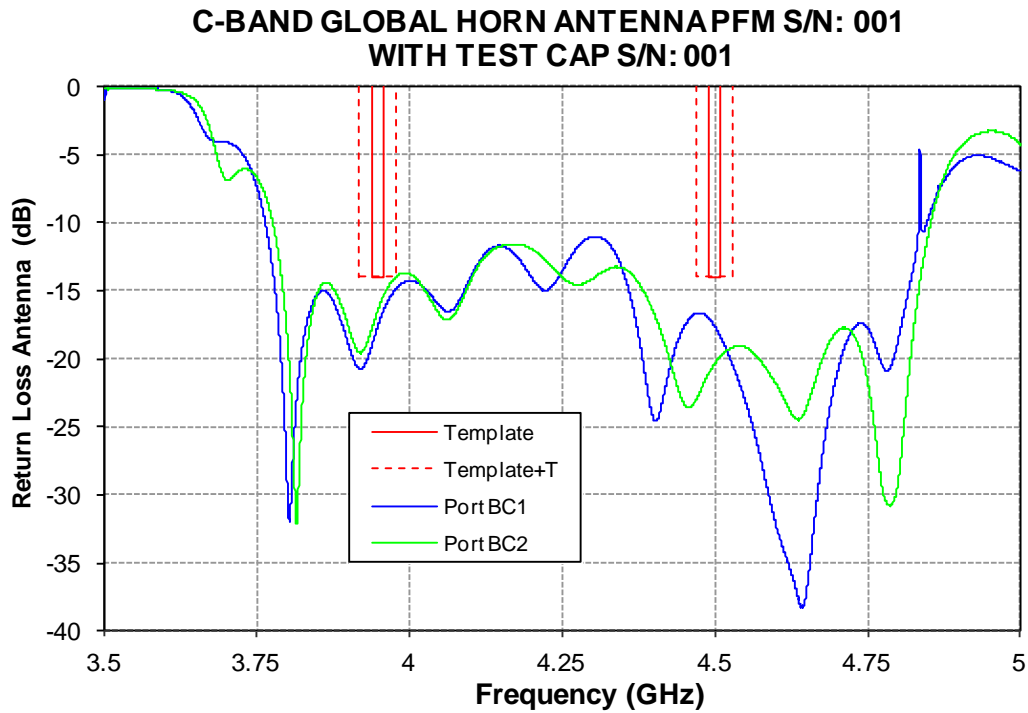


Figura 5.2.1.1.3.- Pérdidas de Retorno de la Antena con el Test Cap. Medidas Iniciales.

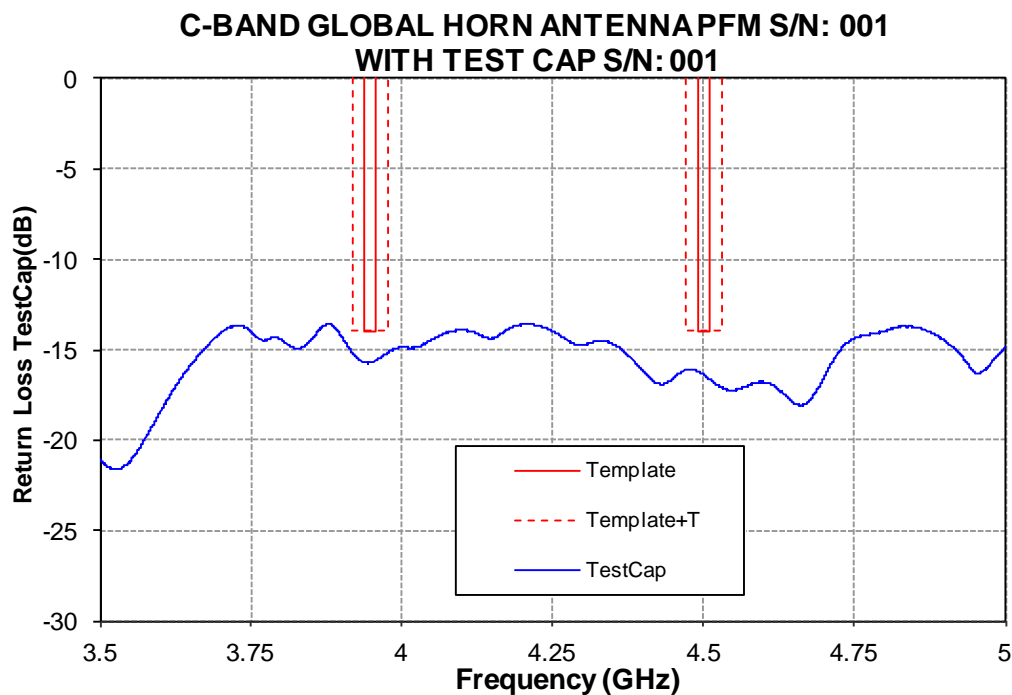


Figura 5.2.1.1.4.- Pérdidas de Retorno del Test Cap. Medidas Iniciales.

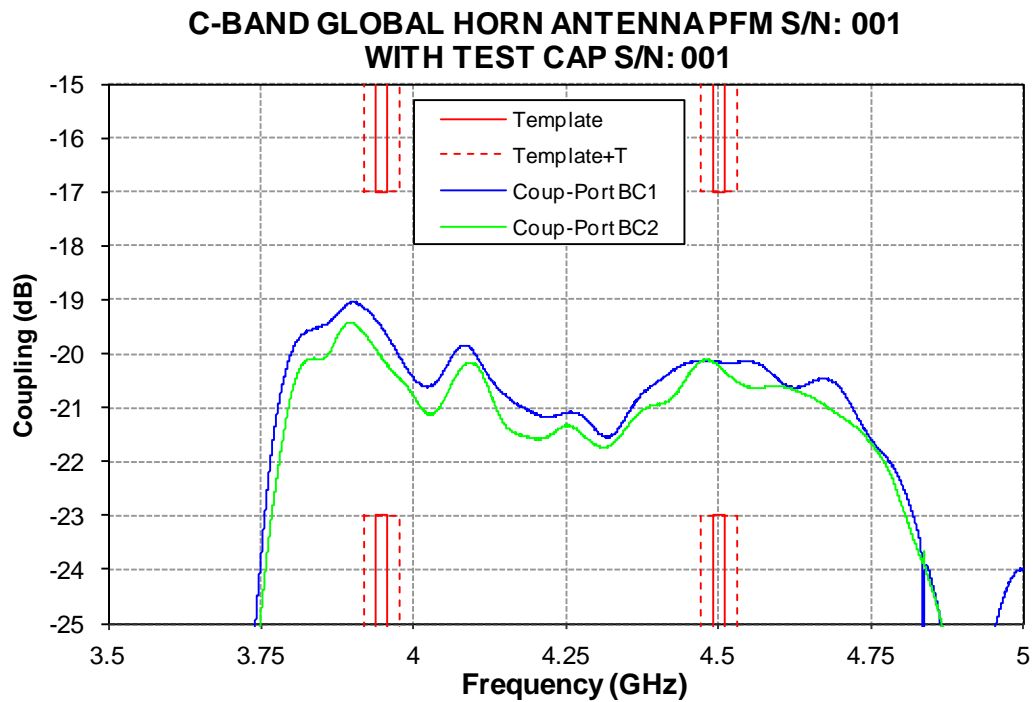


Figura 5.2.1.1.5.- Acoplo entre Antena y Test Cap. Medidas Iniciales.

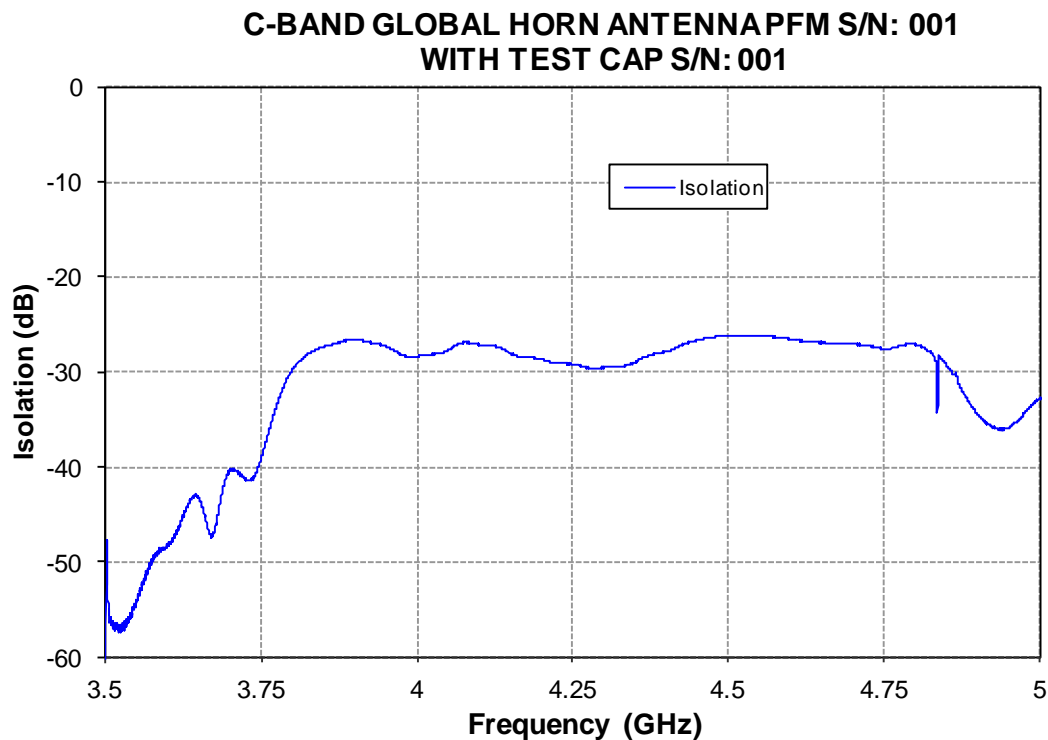


Figura 5.2.1.1.6.- Aislamiento entre Puertos de la Antena con el Test Cap. Medidas Iniciales.

2.1.2. Análisis de Resultados

Como podemos observar en las gráficas, las medidas iniciales de laboratorio cumplen con las especificaciones del cliente y están en consonancia con lo que esperábamos por el diseño.

En las medidas realizadas sobre la antena sola, se observa que las Pérdidas de Retorno cumplen en las dos bandas, incluido la extensión por temperaturas extremas. Esto nos garantizará que cuando nuestra Antena se vea expuesta a dichas condiciones, seguirá funcionando con normalidad.

En cuanto al Aislamiento entre Puertos, comprobamos el buen comportamiento del OMT que impide que la señal de cada puerto se vaya hacia el otro, satisfaciendo así uno de los puntos críticos marcados por el cliente. En este caso además, los valores obtenidos para el aislamiento nos garantizan que en las medidas de radiación obtendremos una buena XPD, otro de los requisitos críticos del cliente.

Los resultados obtenidos para los parámetros del Test Cap también son dados por válidos. Todas las medidas cumplen con margen las especificaciones del cliente, las Pérdidas de Retorno, tanto de la Antena con el Test Cap, como del Test Cap en sí, están dentro de los resultados que cabía esperar, el Acoplo entre ambos puertos de la Antena y el Test Cap están centrados entre los valores pedidos. Y por último, el Aislamiento entre Puertos de la Antena con el Test Cap, que aunque carece de especificación por parte del cliente, es necesario conocer su valor a fin de saber el comportamiento de este parámetro durante los ensayos, pues aporta información de cuanta potencia puede pasar de puerto a otro.

Por todo ello, podemos concluir que nuestra antena está lista para pasar al siguiente ensayo de la Campaña.

2.2. Medidas Iniciales de Radiación

Una vez realizadas las medidas del laboratorio que nos dan una primera comprobación sobre el correcto funcionamiento del equipo, es necesario realizar las medidas de radiación en el Compact Range y confirmar definitivamente el comportamiento de nuestro equipo. Al final se trata de una antena, y su principal función es la de radiar la señal que le llega, por ello, es imprescindible que funcione bien en radiación.

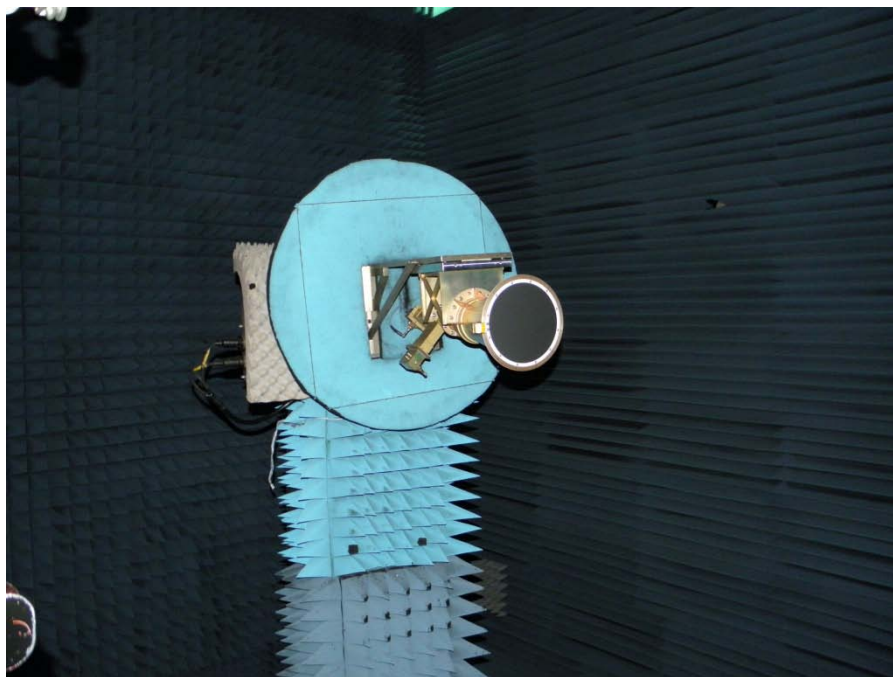


Figura 5.2.2.1- C-Band BEACON HORN en el Compact Range. Medidas Iniciales.

Como podemos ver en la imagen, la Antena se encuentra colocada boca abajo. Esto es debido al hecho de que en el satélite va a ir así colocada y por tanto las medidas de comprobación deben realizarse de la misma manera que radiará la Antena realmente en el satélite durante los ensayos del cliente y su vida útil en órbita.

Las medidas de radiación se llevan a cabo siguiendo el Procedimiento y el Test Plan vistos en el capítulo anterior a las frecuencias:

F1: 3.947 GHz

F2: 4.5 GHz

2.2.1. Presentación de Resultados

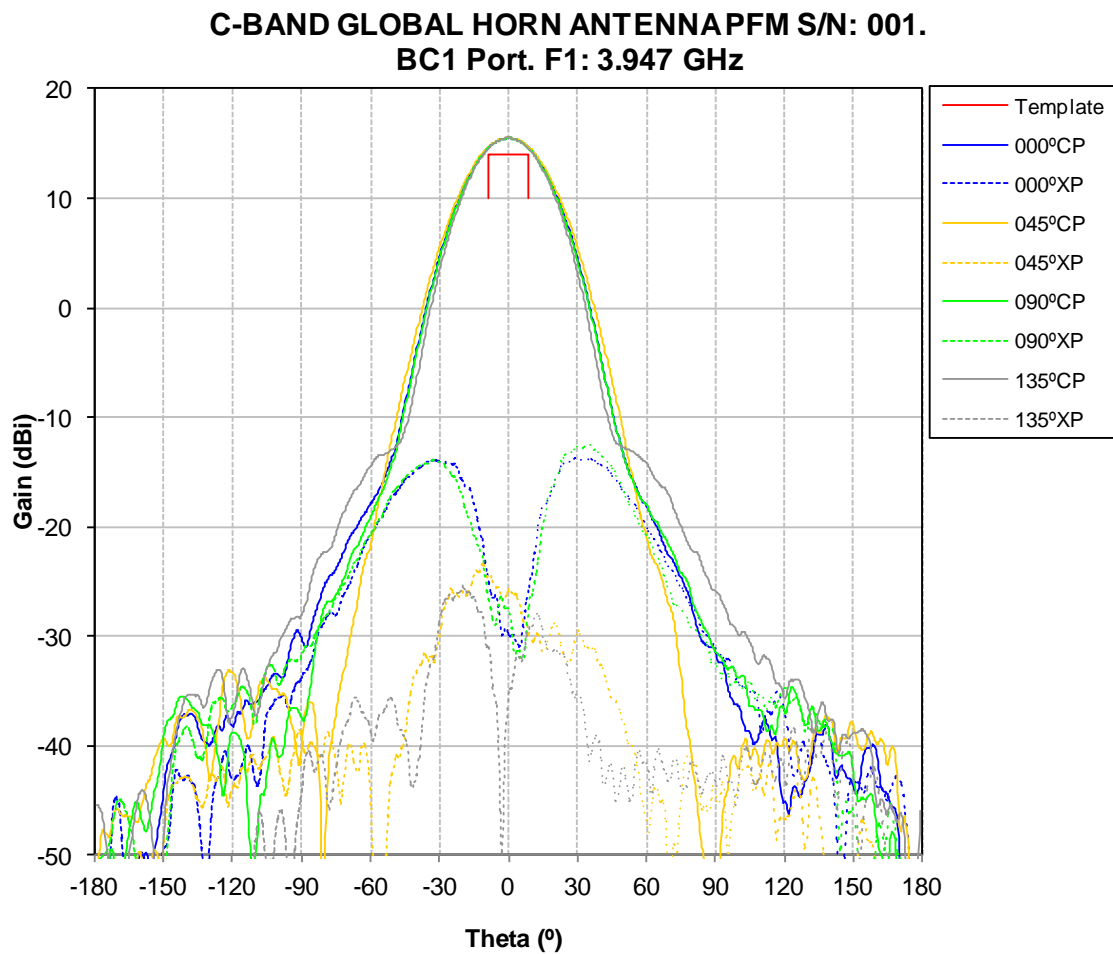


Figura 5.2.2.1.1.- Diagrama de Radiación. Puerto BC1. F1: 3.947 GHz. Medidas Iniciales

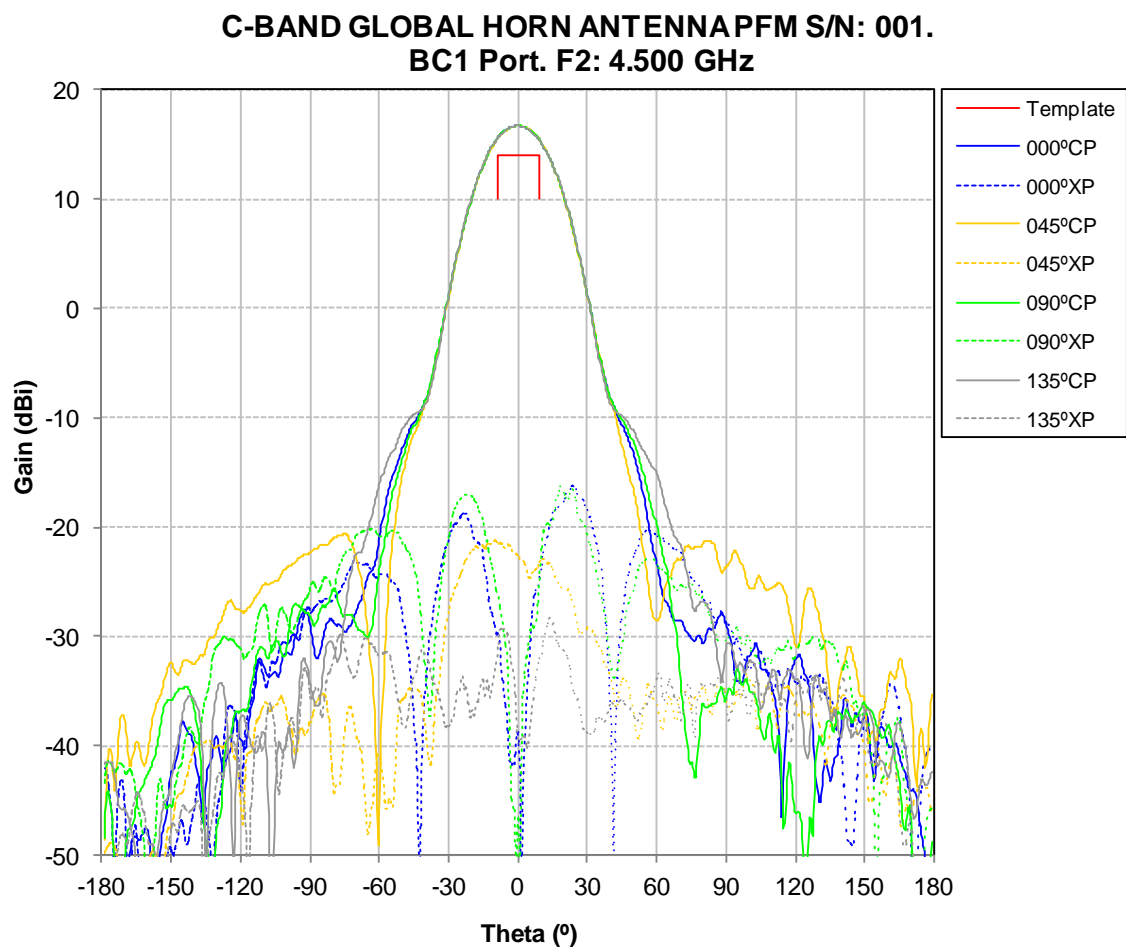


Figura 5.2.2.1.2.- Diagrama de Radiación. Puerto BC1. F2: 4.5 GHz. Medidas Iniciales

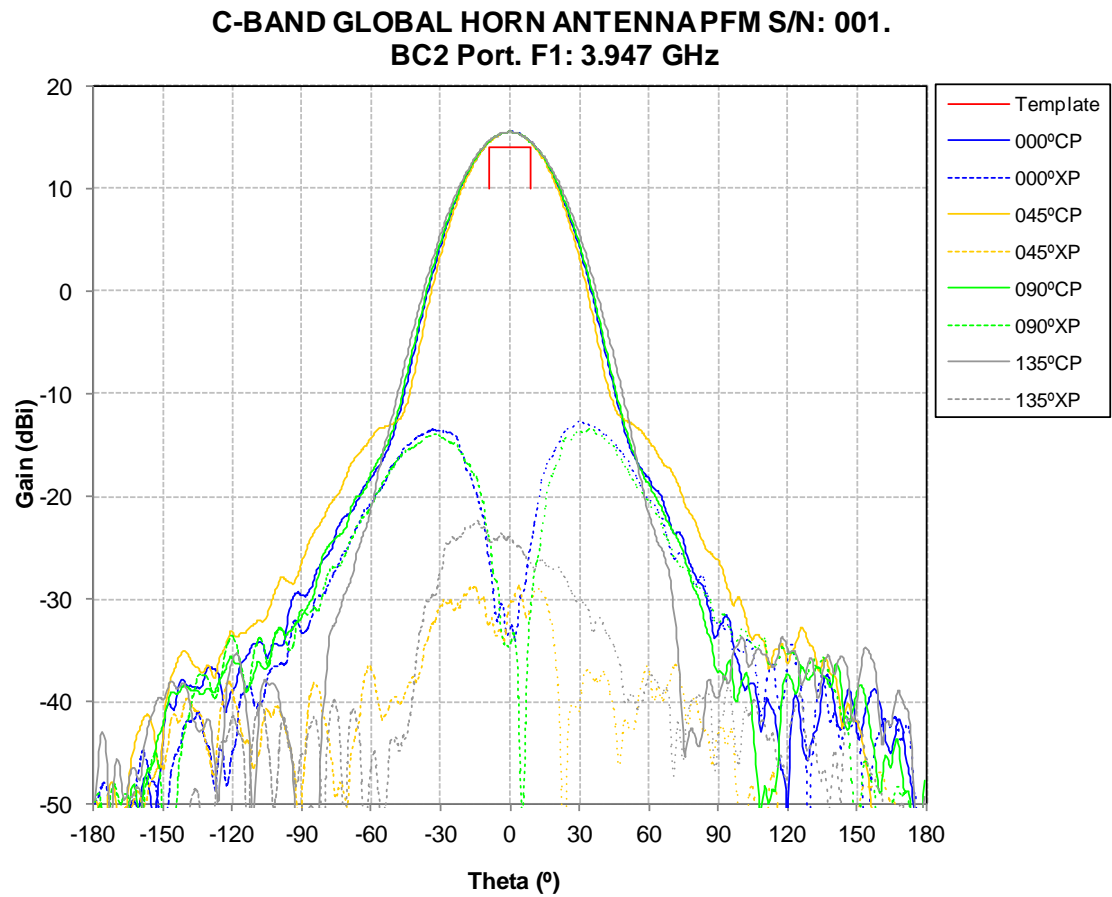


Figura 5.2.2.1.3.- Diagrama de Radiación. Puerto BC2. F1: 3.947 GHz. Medidas Iniciales

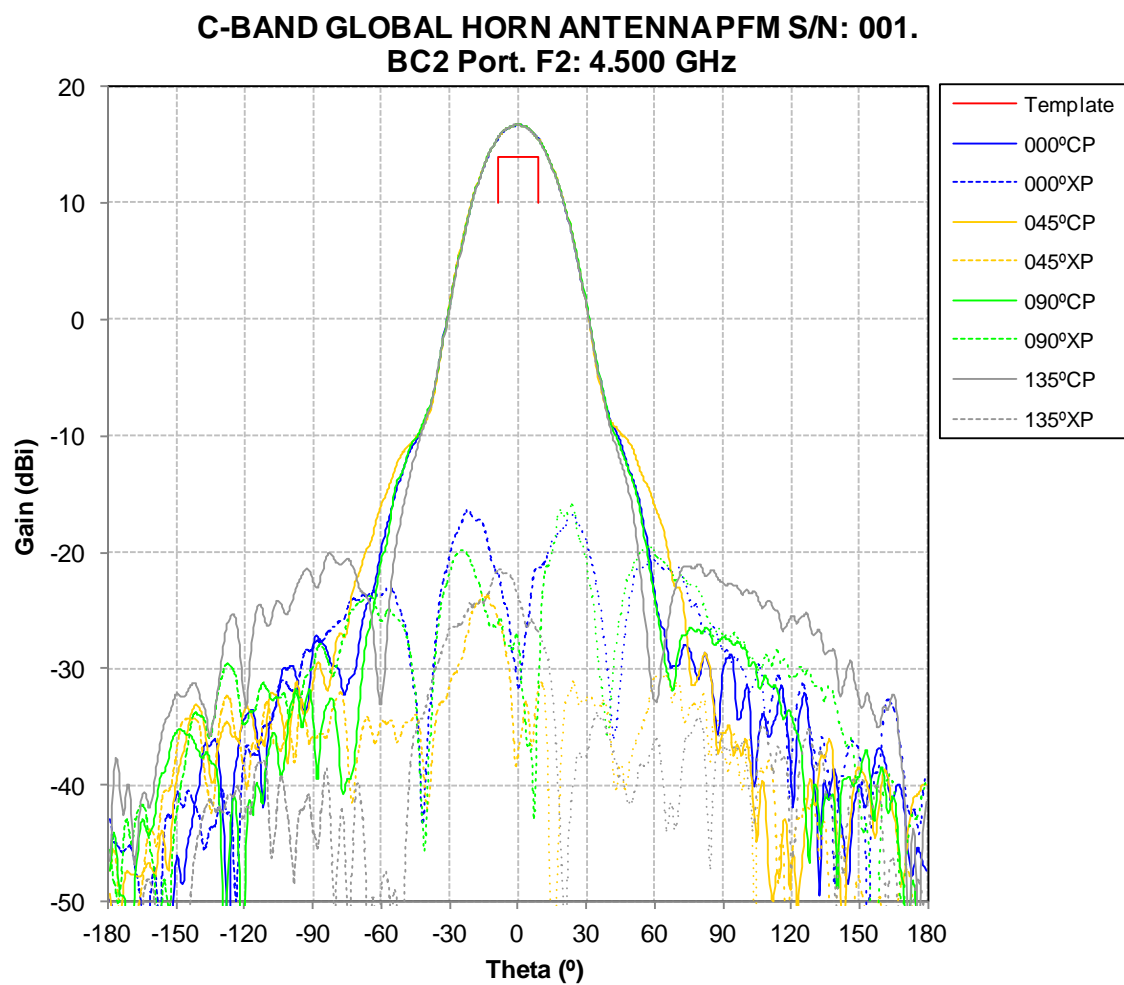


Figura 5.2.2.1.4.- Diagrama de Radiación. Puerto BC2. F2: 4.5 GHz. Medidas Iniciales

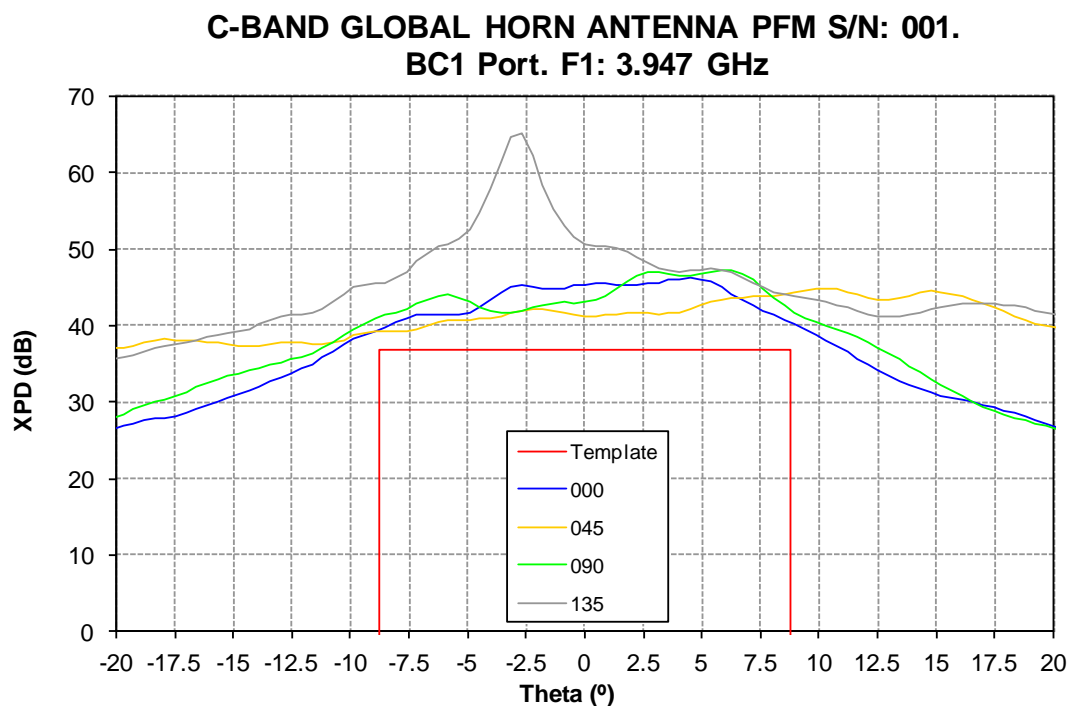


Figura 5.2.2.1.5.- Crosspolar Discrimination. Puerto BC1. F1: 3.947 GHz. Medidas Iniciales

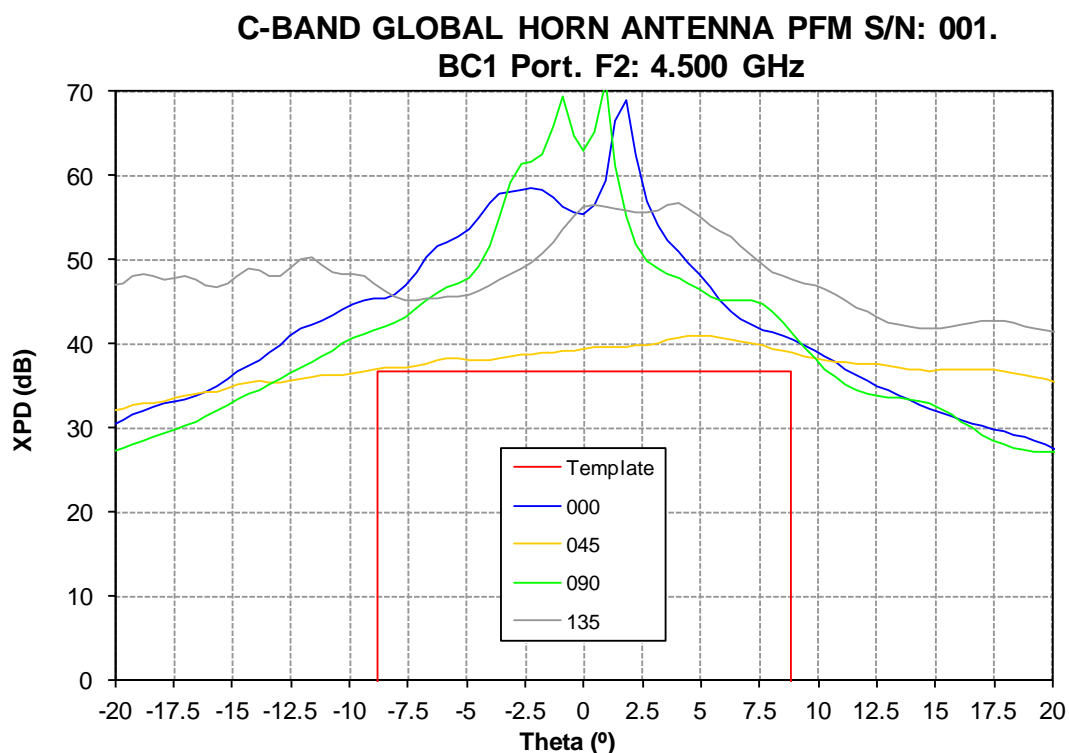


Figura 5.2.2.1.6.- Crosspolar Discrimination. Puerto BC1. F2: 4.5 GHz. Medidas Iniciales

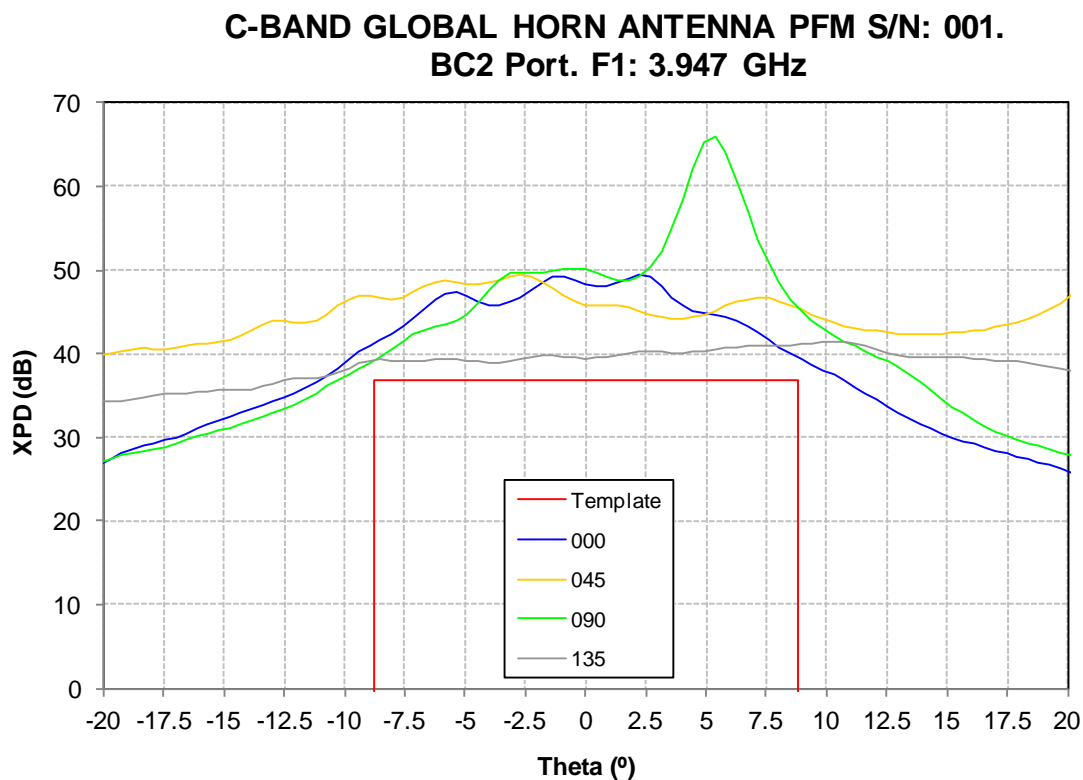


Figura 5.2.2.1.7.- Crosspolar Discrimination. Puerto BC2. F1: 3.947 GHz. Medidas Iniciales

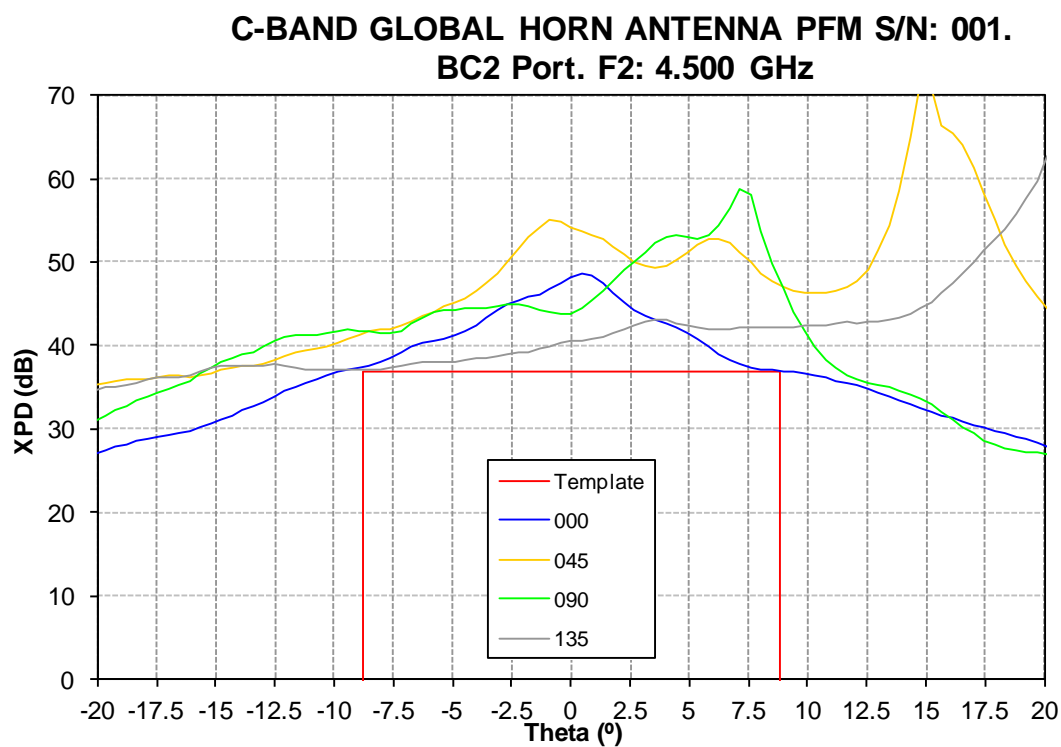


Figura 5.2.2.1.8.- Crosspolar Discrimination. Puerto BC2. F2: 4.5 GHz. Medidas Iniciales

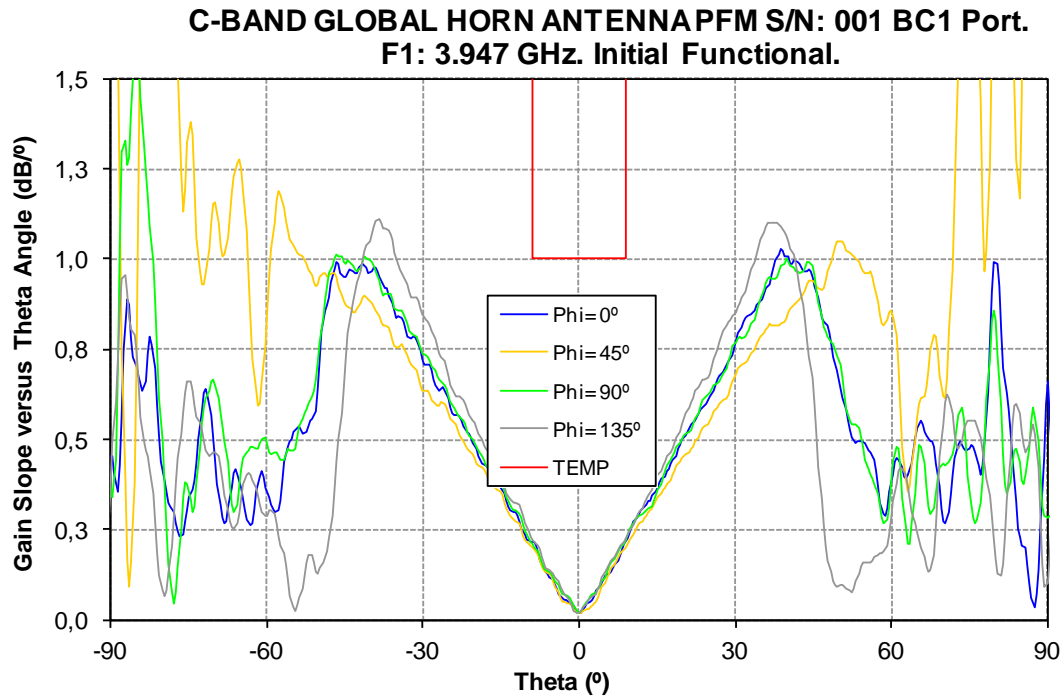


Figura 5.2.2.1.9.- Gain Slope. Puerto BC1. F1: 3.947 GHz. Medidas Iniciales

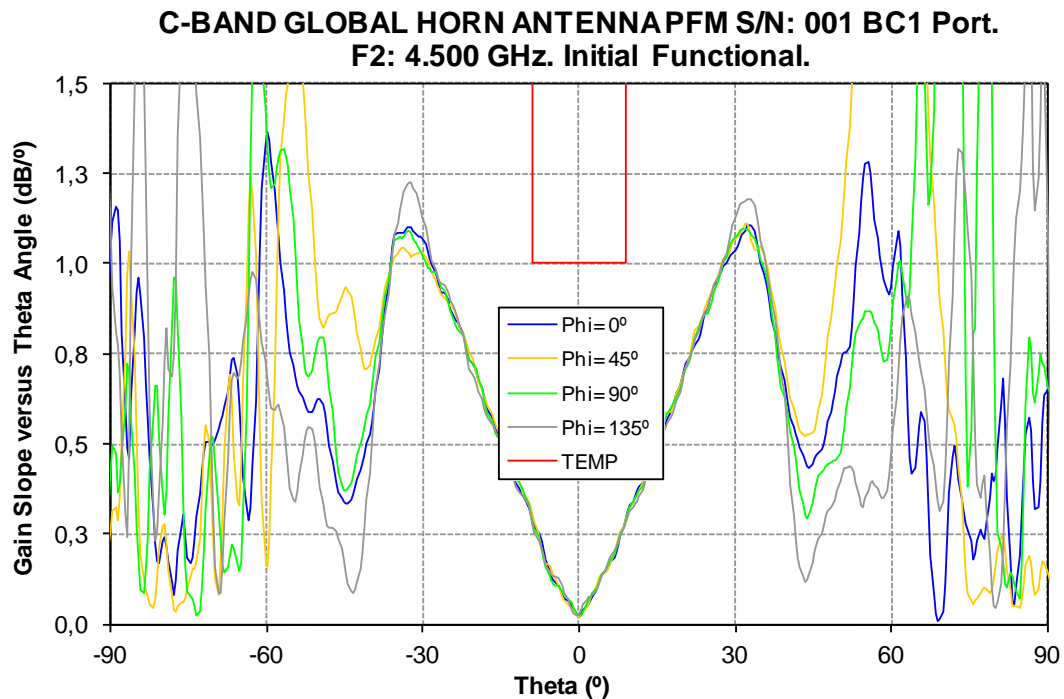


Figura 5.2.2.1.10.- Gain Slope. Puerto BC1. F2: 4.5 GHz. Medidas Iniciales

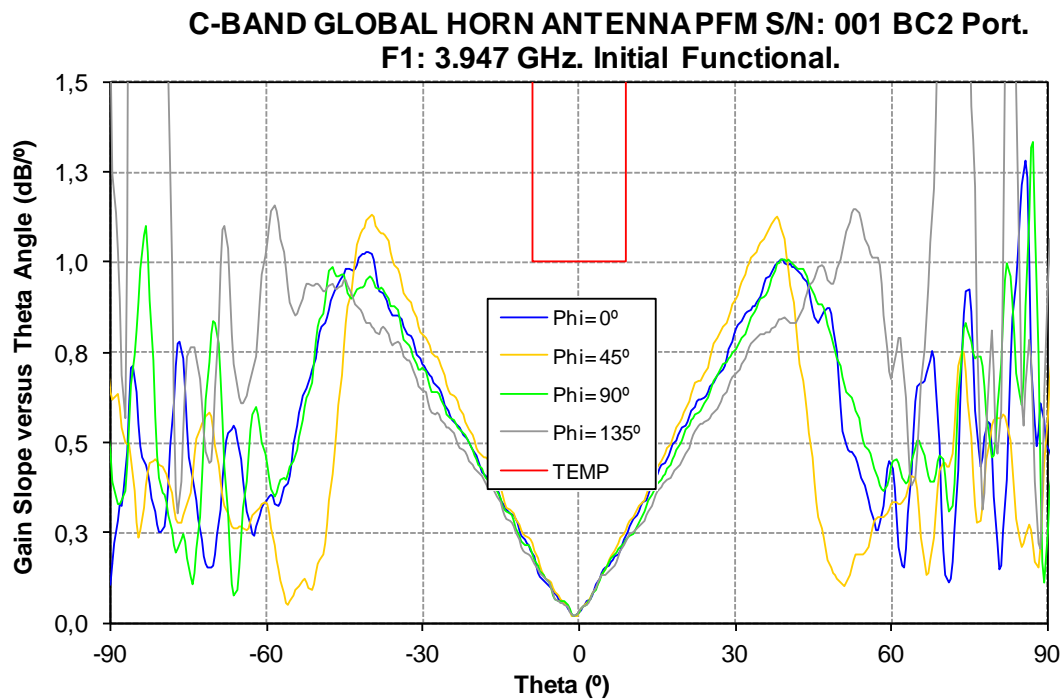


Figura 5.2.2.1.11.- Gain Slope. Puerto BC2. F1: 3.947 GHz. Medidas Iniciales

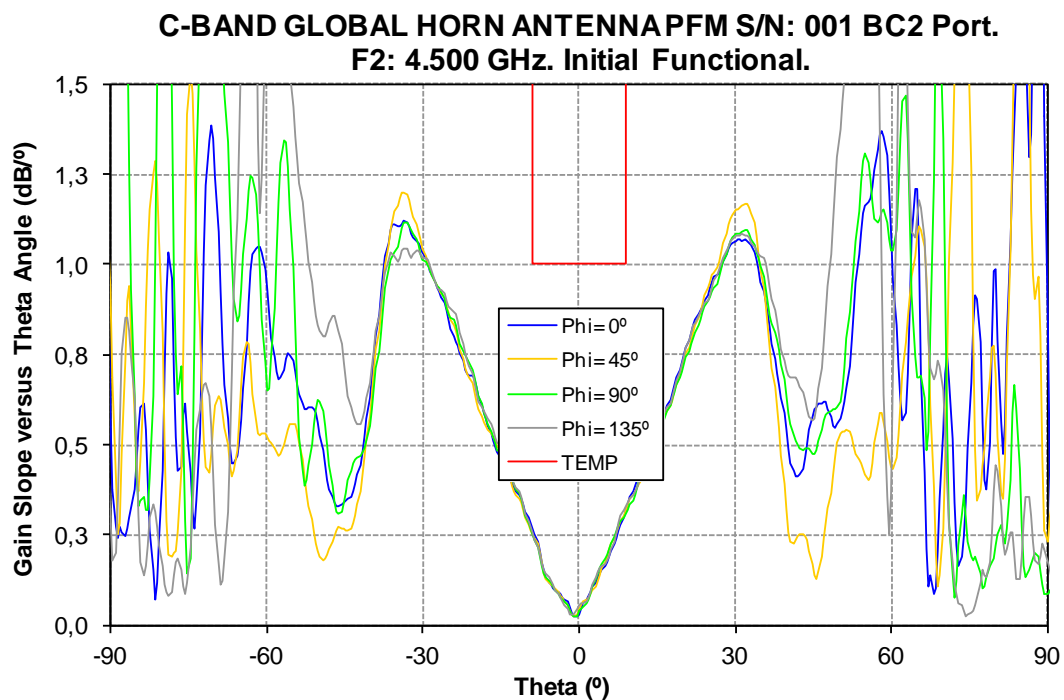


Figura 5.2.2.1.12.- Gain Slope. Puerto BC2. F2: 4.5 GHz. Medidas Iniciales

2.2.2. Medidas de Iniciales de Polarización

El propósito de este test en el Compact Range es determinar la desviación de la polarización de nuestra antena usando métodos eléctricos. Es importante determinar cuál es el error real cometido en la polarización respecto a la especificada por el cliente y comprobar que este dentro de los límites fijados.

Sin embargo, la medida de polarización por el método eléctrico lleva asociado un error de medida de 0.1° . Es por ello, que este método se utiliza con un doble chequeo, el vector de polarización es ortogonal a la cara ancha de la guía-onda y su posición se calcula mediante una medida mecánica en 3D con un error de 0.01° . Es importante remarcar que el efecto del SunShield de la antena sobre la desviación de polarización es impredecible.

2.2.2.1 Medidas de Polarización del Eje RF

La base para el cálculo de la polarización de la antena es a través de la comparación de las medidas de la Antena de Polarización de Referencia (PRH). Para detectar con gran precisión el ángulo de polarización de la antena, el mejor camino es buscar el ángulo para el que la señal copolar es mínima. Pero, puesto que las señales de ruido pueden ser mayores que el mínimo de la señal buscada, un método más adecuado es promediar diferentes ángulos con el mismo nivel de potencia recibido. Los niveles elegidos deben ser bajos, pero suficientemente altos para no mezclarse con el ruido. El hecho de que el Compact Range no tenga el mismo comportamiento en ambos ejes (X e Y), hace necesario que las medidas se realicen dos veces: La segunda medida haremos rotar las antenas (emisora y receptora) 90° con respecto a la primera medida.

Primero procedemos a realizar las dos medidas con nuestra antena y posteriormente se realizan las dos medidas sobre la PRH. De esta manera podemos calcular la desviación de la Polarización de nuestra antena con respecto a la de referencia. Los cálculos son los siguientes:

Puerto BC1 F1:

Primera medida, el DUT:

Nivel (dB)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)
Ángulo Inicial			Rotado 90°			
-23	50.862	53.888	52.375	140.584	143.706	142.145
-24	51.037	53.71	52.3735	140.755	143.529	142.142
-25	51.201	53.549	52.375	140.903	143.369	142.136
-26	51.342	53.405	52.3735	141.044	143.235	142.1395
-27	51.467	53.279	52.373	141.168	143.117	142.1425
-28	51.585	53.164	52.3745	141.273	143.005	142.139
			52.3740833			142.140667

Segunda medida, la Antena de Polarización de Referencia (PRH):

Nivel (dB)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)
Ángulo Inicial			Rotado 90°			
-20	95.303	99.209	97.256	5.385	9.251	7.318
-21	95.529	98.982	97.2555	5.609	9.027	7.318
-22	95.732	98.781	97.2565	5.809	8.818	7.3135
-23	95.909	98.599	97.254	5.996	8.631	7.3135
-24	96.075	98.43	97.2525	6.156	8.462	7.309
-25	96.225	98.284	97.2545	6.312	8.305	7.3085
			97.2548333			7.31341667

Al resultado anterior, debemos sumarle 90°, para calcular la última media:
Así:

$$((142.141 + 90) + 52.374) / 2 = 142.258^\circ$$

$$((7.313 + 90) + 97.255) / 2 = 97.284^\circ$$

Entonces, la diferencia entre la medida de la PRH y nuestra antena para el Puerto BC1 a F1 es el ángulo de desviación de la polarización de nuestra antena, con un error menor o igual a 0.1°:

El ángulo de desviación de la polarización del puerto BC1 a F1: $(97.284^\circ - 142.258^\circ) - (-45^\circ) = 0.026^\circ$

Puerto BC1 F2:

Primera medida, el DUT:

Nivel (dB)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)
Ángulo Inicial			Rotado 90°			
-21	51.892	54.707	53.2995	140.729	144.09	142.4095
-22	52.117	54.48	53.2985	140.914	143.903	142.4085
-23	52.329	54.27	53.2995	141.076	143.742	142.409
-24	52.534	54.052	53.293	141.222	143.591	142.4065
-25	52.756	53.817	53.2865	141.356	143.463	142.4095
-26	53.075	53.493	53.284	141.472	143.345	142.4085
			53.2935			142.408583

Segunda medida, la Antena de Polarización de Referencia (PRH):

Nivel (dB)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)
Ángulo Inicial			Rotado 90°			
-20	96.668	99.983	98.3255	5.972	9.052	7.512
-21	96.85	99.804	98.327	6.173	8.853	7.513
-22	97.012	99.641	98.3265	6.354	8.664	7.509
-23	97.165	99.488	98.3265	6.522	8.486	7.504
-24	97.297	99.355	98.326	6.687	8.326	7.5065
-25	97.416	99.238	98.327	6.846	8.162	7.504
			98.3264167			7.50808333

Al resultado anterior, debemos sumarle 90°, para calcular la última media:
Así:

$$((142.409 + 90) + 53.294) / 2 = 142.852^\circ$$

$$((7.508 + 90) + 98.326) / 2 = 97.917^\circ$$

Entonces, la diferencia entre la medida de la PRH y nuestra antena para el Puerto BC1 a F2 es el ángulo de desviación de la polarización de nuestra antena, con un error menor o igual a 0.1°:

El ángulo de desviación de la polarización del puerto BC1 a F2: $(97.917^\circ - 142.852^\circ) - (-45^\circ) = 0.065^\circ$

Puerto BC2 F1:

Primera medida, el DUT:

Nivel (dB)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)
Ángulo Inicial			Rotado 90°			
-25	140.847	143.299	142.073	51.199	53.449	52.324
-26	140.89	143.167	142.0285	51.347	53.303	52.325
-27	141.103	143.044	142.0735	51.481	53.165	52.323
-28	141.215	142.937	142.076	51.607	53.037	52.322
-29	141.307	142.843	142.075	51.727	52.925	52.326
-30	141.392	142.759	142.0755	51.839	52.816	52.3275
			142.066917			52.3245833

Segunda medida, la Antena de Polarización de Referencia (PRH):

Nivel (dB)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)
Ángulo Inicial			Rotado 90°			
-20	95.303	99.209	97.256	5.385	9.251	7.318
-21	95.529	98.982	97.2555	5.609	9.027	7.318
-22	95.732	98.781	97.2565	5.809	8.818	7.3135
-23	95.909	98.599	97.254	5.996	8.631	7.3135
-24	96.075	98.43	97.2525	6.156	8.462	7.309
-25	96.225	98.284	97.2545	6.312	8.305	7.3085
			97.2548333			7.31341667

Al resultado anterior, debemos sumarle 90°, para calcular la última media:

Así:

$$((52.325 - 90) + 142.067) / 2 = 52.196^\circ$$

$$((7.313 + 90) + 97.255) / 2 = 97.284^\circ$$

Entonces, la diferencia entre la medida de la PRH y nuestra antena para el Puerto BC2 a F1 es el ángulo de desviación de la polarización de nuestra antena, con un error menor o igual a 0.1°:

El ángulo de desviación de la polarización del puerto BC2 a F1: $(97.284^\circ - 52.196^\circ) - 45^\circ = 0.088^\circ$.

Puerto BC2 F2:

Primera medida, el DUT:

Nivel (dB)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)
Ángulo Inicial			Rotado 90°			
-16	139.345	145.309	142.327	50.75	56.159	53.4545
-17	139.672	144.987	142.3295	51.115	55.797	53.456
-18	139.951	144.707	142.329	51.449	55.463	53.456
-19	140.21	144.444	142.327	51.761	55.165	53.463
-20	140.435	144.218	142.3265	52.049	54.877	53.463
-21	140.65	144.004	142.327	52.332	54.599	53.4655
			142.327667			53.4596667

Segunda medida, la Antena de Polarización de Referencia (PRH):

Nivel (dB)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)
Ángulo Inicial			Rotado 90°			
-20	96.668	99.983	98.3255	5.972	9.052	7.512
-21	96.85	99.804	98.327	6.173	8.853	7.513
-22	97.012	99.641	98.3265	6.354	8.664	7.509
-23	97.165	99.488	98.3265	6.522	8.486	7.504
-24	97.297	99.355	98.326	6.687	8.326	7.5065
-25	97.416	99.238	98.327	6.846	8.162	7.504
			98.3264167			7.50808333

Al resultado anterior, debemos sumarle 90°, para calcular la última media:

Así:

$$((53.460 - 90) + 142.328) / 2 = 52.894^\circ$$

$$((7.508 + 90) + 98.326) / 2 = 97.917^\circ$$

Entonces, la diferencia entre la medida de la PRH y nuestra antena para el Puerto BC2 a F2 es el ángulo de desviación de la polarización de nuestra antena, con un error menor o igual a 0.1°:

El ángulo de desviación de la polarización del puerto BC2 a F2: $(97.917^\circ - 52.894^\circ) - 45^\circ = 0.023^\circ$.

2.2.3. Análisis de Resultados

Como observamos en las gráficas de resultados, los diagramas de radiación de nuestra Antena cumplen las especificaciones marcadas por el cliente y están en sintonía con el diseño.

La antena cumple sobradamente con los otros dos puntos críticos exigidos por el cliente en este punto:

- Un haz estrecho
- Una buena XPD (Cross-Polar Discrimination)

Podemos comprobar que la señal copolar del diagrama cumple con la cobertura que se espera de una Global Horn que es aproximadamente de unos 8° , con lo que, desde una órbita geoestacionaria, puede dar cobertura a toda la Tierra.

Además, podemos ver que la señal contrapolar en la zona de la cobertura tiene el mínimo que cabría esperar por ser una antena lineal y que como podemos confirmar con las gráficas de XPD, nos proporciona una excelente relación copolar/contrapolar (CrossPolar Discrimination, XPD) en nuestra cobertura.

Como se puede observar, en algunas zonas la relación cumple de manera ajustada, pero podemos estar contentos de que cumplan en todos los puntos, pues era realmente un parámetro difícil de conseguir debido a su alto valor especificado y que no siempre se puede llegar a conseguir.

En cuanto al caso de las gráficas de Gain Slope, se observa que en este caso el margen obtenido en las medidas es bastante alto y que este punto no va a ser ningún problema para dar por bueno la verificación de nuestra Antena.

Por último, la desviación de polarización, que es el error obtenido en la fabricación e implementación de nuestra Antena respecto de la polarización especificada por el cliente. Como hemos visto, la tolerancia de ese error debe ser menor de 0.1° , tras realizar las medidas y procesar los datos, hemos comprobado que dicha desviación en nuestra Antena está por debajo de la tolerancia y que por tanto, también es un parámetro satisfactorio.

Una vez confirmado que nuestra Antena funciona correctamente y que todo está acorde con lo que esperábamos por diseño, podemos empezar la Campaña de Ensayos Ambientales y Eléctricos, y tener estas medidas iniciales como patrón para comprobar todas las demás a lo largo de la Campaña.

3. TEST DE VIBRACIÓN

3.1. Introducción

Tras realizar las medidas eléctricas iniciales es el turno de los ensayos ambientales. En este caso, siguiendo el Test Plan de este proyecto se procederá a realizar el ensayo de vibración.

El ensayo de vibración consiste en colocar la antena sobre la mesa de vibración y realizar una serie de barridos mecánicos sobre la antena con el fin de observar la frecuencia de resonancia propia del equipo para evitar que se puedan generar tensiones sobre el equipo que puedan perjudicar su funcionamiento o incluso destruirlo.

Este test pretende simular la fase de lanzamiento del satélite, cuando se encuentra sobre el cohete durante la fase de despegue y la fase de ascensión, se producen vibraciones debidas a la combustión de aproximadamente 100 Hz de frecuencia de resonancia.

Es muy importante que la frecuencia de resonancia propia del equipo se encuentre por encima de ese umbral ya que si no, cabe la posibilidad de que la antena entre en resonancia y amplifique las vibraciones y que pueda verse afectado su funcionamiento o en caso crítico, inutilizarlo por completo.

3.2. Realización del Ensayo

Para la realización del ensayo debemos preparar la antena, tras colocar la antena sobre la mesa de vibración, se procede a colocar los acelerómetros de medida y de control, los primeros sobre la antena y los segundos sobre la mesa de vibración.

Los acelerómetros son los encargados de registrar los datos obtenidos durante el ensayo, obtienen los valores de amplitud y frecuencia en cada test. Los acelerómetros de medida colocados sobre la antena registran la vibración que produce nuestro equipo al ser excitado por una vibración externa predeterminada, y que es comprobada mediante los acelerómetros de control.

En el caso de nuestra antena, se colocan 3 acelerómetros tri-axiales de medida sobre la antena, 2 acelerómetros mono-axiales de control sobre la mesa, y para el test en el eje Z, 2 acelerómetros tri-axiales de control adicionales.

Como ya vimos en el capítulo anterior, los test se realizan siguiendo una secuencia determinada y en cada eje por separado, de esta manera podemos observar mejor los efectos que produce cada test sobre nuestra antena.

Los acelerómetros se fijan a la antena encima de cinta de Kapton para evitar el contacto directo entre el pegamento que fija los acelerómetros y la superficie del equipo para protegerlo.

En las siguientes fotografías podemos observar la antena durante el ensayo de vibración en los distintos ejes.

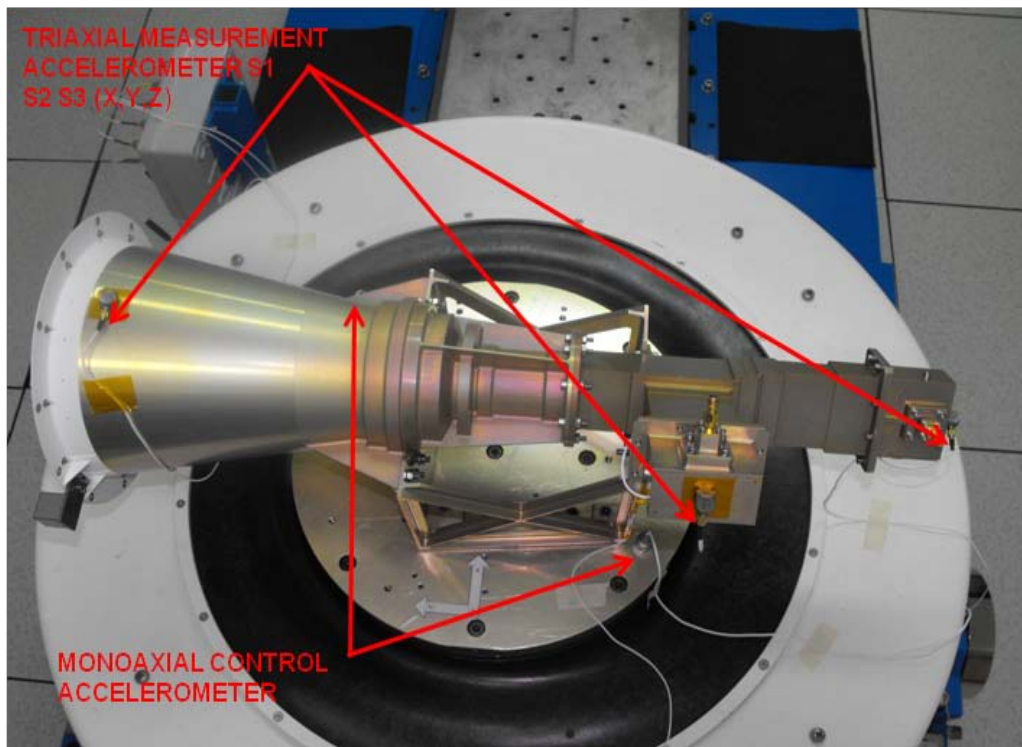


Figura 5.3.2.1.- Test de vibración del eje Y

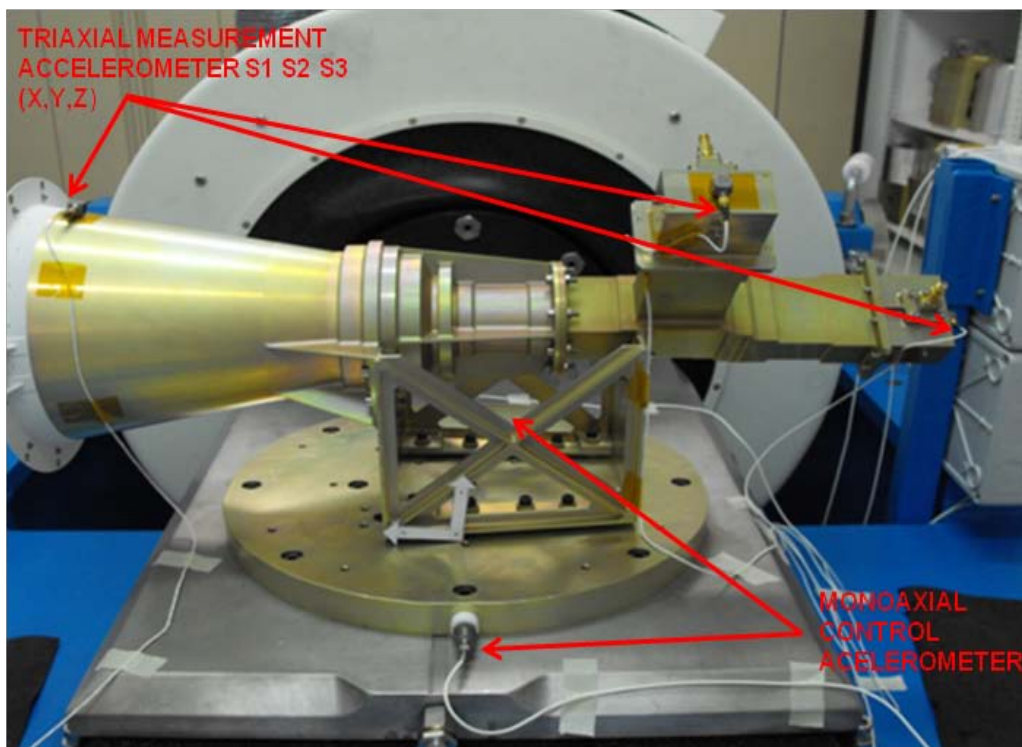


Figura 5.3.2.2.- Test de vibración del eje X

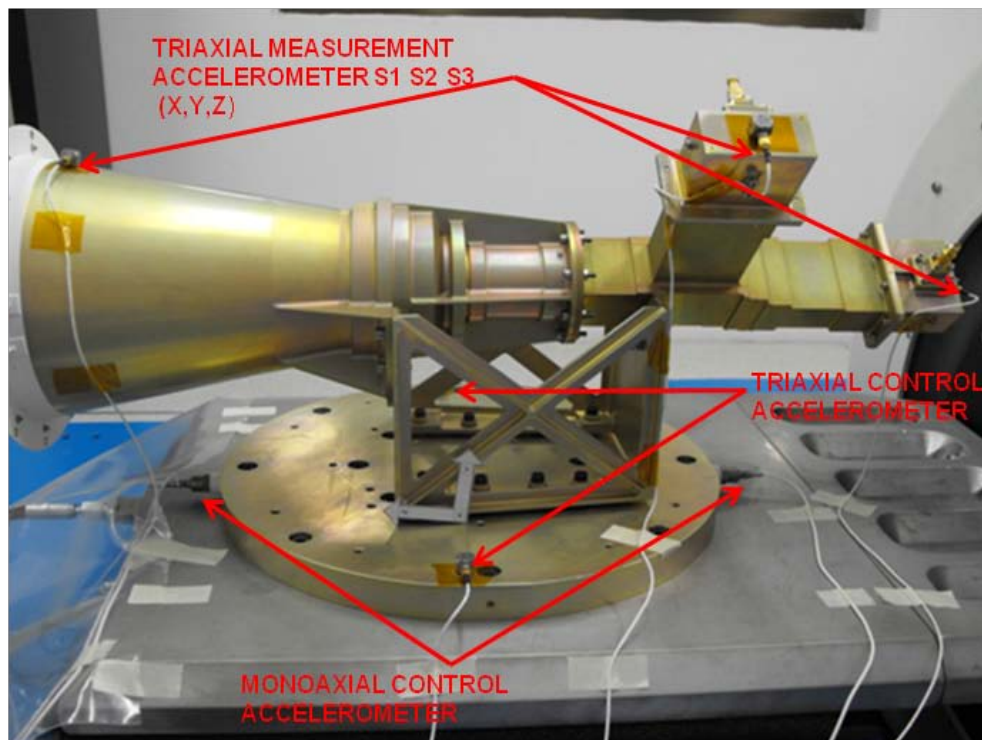


Figura 5.3.2.3.- Test de vibración del eje Z

3.3. Presentación de Resultados

Las gráficas de los resultados obtenidos durante el Ensayo de Vibración se adjuntan en el anexo A, en las siguientes tablas se resumen con los valores más importantes de dichos resultados.

Acelerómetro S1:

<i>EJES</i>	<i>RUN</i>	<i>TEST</i>	<i>ACELERÓMETROS</i>		
			<i>S1 (X)</i>	<i>S1 (Y)</i>	<i>S1 (Z)</i>
<i>Y</i>	<i>I</i>	<i>Sine 0,5 g Reference</i>	-----	345.31/49.8	-----
	<i>II</i>	<i>Quasi Static & Sine Test</i>	13.1	75.1	17.8
	<i>III</i>	<i>Sine 0,5 g Control 1</i>	-----	345.31/49.4	-----
	<i>IV</i>	<i>Random Test</i>	90.5	176.41	65.91
	<i>V</i>	<i>Sine 0,5 g Control 2</i>	-----	342.94/53.9	-----
<i>X</i>	<i>VI</i>	<i>Sine 0,5 g Reference</i>	311.53/81.4 378.31/37.6	-----	-----
	<i>VII</i>	<i>Quasi Static & Sine Test</i>	55.4	0.86	1.29
	<i>VIII</i>	<i>Sine 0,5 g Control 1</i>	311.54/64 378.74/37.8	-----	-----
	<i>IX</i>	<i>Random Test</i>	90.51	125.78	28.85
	<i>X</i>	<i>Sine 0,5 g Control 2</i>	304.75/46.4 367.56/49	-----	-----
<i>Z</i>	<i>XI</i>	<i>Sine 0,5 g Reference</i>	-----	-----	261.63/22.9 446.40/23.5
	<i>XII</i>	<i>Quasi Static & Sine Test</i>	0.94	14.3	53.3
	<i>XIII</i>	<i>Sine 0,5 g Control 1</i>	-----	-----	261.61/22.4 446.37/23
	<i>XIV</i>	<i>Random Test</i>	49.18	105.6	45.88
	<i>XV</i>	<i>Sine 0,5 g Control 2</i>	-----	-----	259.82/21.6 446.37/22.8

Acelerómetro S2:

<i>EJES</i>	<i>RUN</i>	<i>TEST</i>	<i>ACELERÓMETROS</i>		
			<i>S2 (X)</i>	<i>S2 (Y)</i>	<i>S2 (Z)</i>
<i>Y</i>	<i>I</i>	<i>Sine 0,5 g Reference</i>	-----	1326.92/17.3	-----
	<i>II</i>	<i>Quasi Static & Sine Test</i>	58.9	51.9	4.62
	<i>III</i>	<i>Sine 0,5 g Control 1</i>	-----	1326.95/17.3	-----
	<i>IV</i>	<i>Random Test</i>	112.14	86.19	99.87
	<i>V</i>	<i>Sine 0,5 g Control 2</i>	-----	1326.43/18.1	-----
<i>X</i>	<i>VI</i>	<i>Sine 0,5 g Reference</i>	311.53/56.7 378.31/29.7	-----	-----
	<i>VII</i>	<i>Quasi Static & Sine Test</i>	41.2	37.5	3.31
	<i>VIII</i>	<i>Sine 0,5 g Control 1</i>	311.54/44.9 378.74/30.2	-----	-----
	<i>IX</i>	<i>Random Test</i>	109.18	34.03	91.34
	<i>X</i>	<i>Sine 0,5 g Control 2</i>	304.75/43.4 367.56/23.3	-----	-----
<i>Z</i>	<i>XI</i>	<i>Sine 0,5 g Reference</i>	-----	-----	261.63/61.3 446.40/38
	<i>XII</i>	<i>Quasi Static & Sine Test</i>	1.22	1.52	6.29
	<i>XIII</i>	<i>Sine 0,5 g Control 1</i>	-----	-----	261.61/60 446.37/37.5
	<i>XIV</i>	<i>Random Test</i>	50.63	21.96	93.43
	<i>XV</i>	<i>Sine 0,5 g Control 2</i>	-----	-----	259.82/56.3 446.37/37.3

Acelerómetro S3:

EJES	RUN	TEST	ACELERÓMETROS		
			S3 (X)	S3 (Y)	S3 (Z)
Y	I	Sine 0,5 g Reference	-----	345.31/54	-----
	II	Quasi Static & Sine Test	11.6	75.9	3.61
	III	Sine 0,5 g Control 1	-----	345.31/53	-----
	IV	Random Test	79.68	135.44	41.42
	V	Sine 0,5 g Control 2	-----	342.94/56.5	-----
X	VI	Sine 0,5 g Reference	311.53/64.6 378.31/17.4	-----	-----
	VII	Quasi Static & Sine Test	58.1	2.25	0.85
	VIII	Sine 0,5 g Control 1	311.54/52.2 378.74/17	-----	-----
	IX	Random Test	80.01	76.13	21.46
	X	Sine 0,5 g Control 2	304.75/59.3 367.56/13	-----	-----
Z	XI	Sine 0,5 g Reference	-----	-----	261.63/19.6 446.40/46.7
	XII	Quasi Static & Sine Test	2.79	6.29	54.4
	XIII	Sine 0,5 g Control 1	-----	-----	261.61/19.1 446.37/46.1
	XIV	Random Test	80.15	178.16	62.94
	XV	Sine 0,5 g Control 2	-----	-----	259.82/18.6 446.37/45.8

Nota: 1.- Sine 0.5 g test: El primer número corresponde a la Frecuencia Propia (Hz). El segundo, es el valor de amplitud (g).
 2.- Quasi Static & Sine test: Este valor es aceleración (g).
 3.-Random test: Este valor es el RMS (g).

Las condiciones del Laboratorio y las tolerancias de los test durante el ensayo de vibración cumplen con los márgenes especificados en el capítulo anterior.

Las celdas vacías se deben a que no existen Frecuencias Propias en las gráficas de vibración, dado que en esos ejes, el equipo no se veía excitado por la vibración exterior.

3.4. Análisis de Resultados

Tal como marca el Test Plan visto en el capítulo anterior, se considera satisfactorio el Ensayo de Vibración si concurren los siguientes sucesos:

- La desviación de las frecuencias propias debe ser menor al 5% y la variación en la amplitud menor al 50% entre los senos de control.
- Realizar una inspección visual durante todo el Ensayo y no encontrar ningún cambio.

A lo largo de la realización del Ensayo se llevo a cabo dicha inspección sin que encontrará ningún cambio. Durante un ensayo de vibración, en casos muy excepcionales, pueden suceder las siguientes cosas, micro fisuras en la estructura del equipo, desplazamiento de piezas más allá de un asentamiento normal de las mismas o pérdida de alguno de los tornillos del montaje del equipo. En nuestro caso, este punto concluyó sin complicaciones y se puede dar por satisfactorio.

El segundo paso se realiza analizando los datos obtenidos durante el ensayo por los acelerómetros y que están resumidos en las tablas anteriores. Tomando como base los valores obtenidos para los senos de referencia de cada eje, podemos hacer el cálculo para comprobar que los datos para el resto de senos de control están dentro de la tolerancia marcada anteriormente, como muestra del análisis tomaremos los datos obtenidos para los senos del eje Z del primer acelerómetro:

Frecuencias Propias:

$$\text{Sine } 0.5g \text{ Reference: } 345.31 \pm 5\% = \begin{cases} 328.04 \text{ Hz} \\ 362.58 \text{ Hz} \end{cases}$$

$$\text{Sine } 0.5g \text{ Control 1: } 345.31 \text{ Hz}$$

$$\text{Sine } 0.5g \text{ Control 2: } 342.94 \text{ Hz}$$

Amplitud:

$$\text{Sine } 0.5g \text{ Reference: } 49.8 \pm 50\% = \begin{cases} 24.9 \text{ g} \\ 74.7 \text{ g} \end{cases}$$

$$\text{Sine } 0.5g \text{ Control 1: } 49.4 \text{ g}$$

$$\text{Sine } 0.5g \text{ Control 2: } 53.9 \text{ g}$$

Como podemos observar los valores se encuentran dentro del margen estipulado como correcto y si hacemos el cálculo para los demás casos podemos concluir que el Test de Vibración ha sido realizado con éxito, podemos pasar nuestra Antena al siguiente paso.

4. MEDIDAS DE POST VIBRACIÓN

Tras el Ensayo de Vibración hay que proceder a realizar nuevamente medidas eléctricas con el fin de comprobar que la antena sigue funcionando correctamente y que ha superado satisfactoriamente el Ensayo de Vibración.

Como hemos visto en el Procedimiento de Medida y el Test Plan del capítulo anterior, las medidas que se deben realizar en este punto son:

- Medidas de Laboratorio

En el caso de nuestra antena, para comprobar la integridad de ésta, procederemos a realizar las medidas de Pérdidas de Retorno y Aislamiento entre Puertos.

Los resultados mostrados a continuación llevan incluidos en la especificación los márgenes por las temperaturas extremas (representado como $\text{Template}+T$).

4.1. Presentación de Resultados

Las siguientes figuras muestran los resultados de la antena:

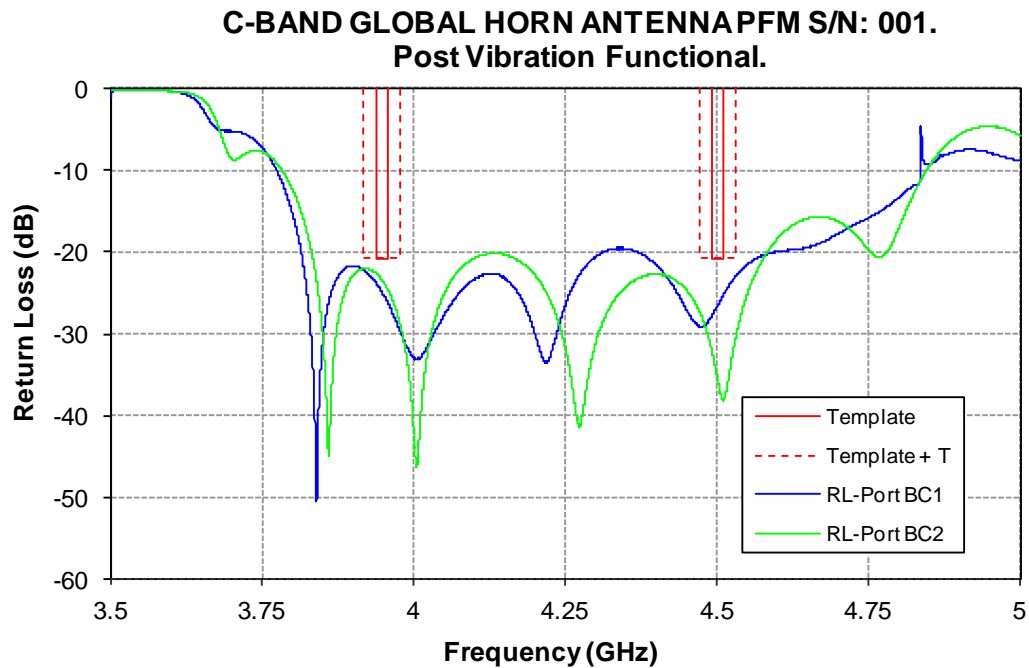


Figura 5.4.1.1.- Pérdidas de Retorno. Medidas Post Vibración.

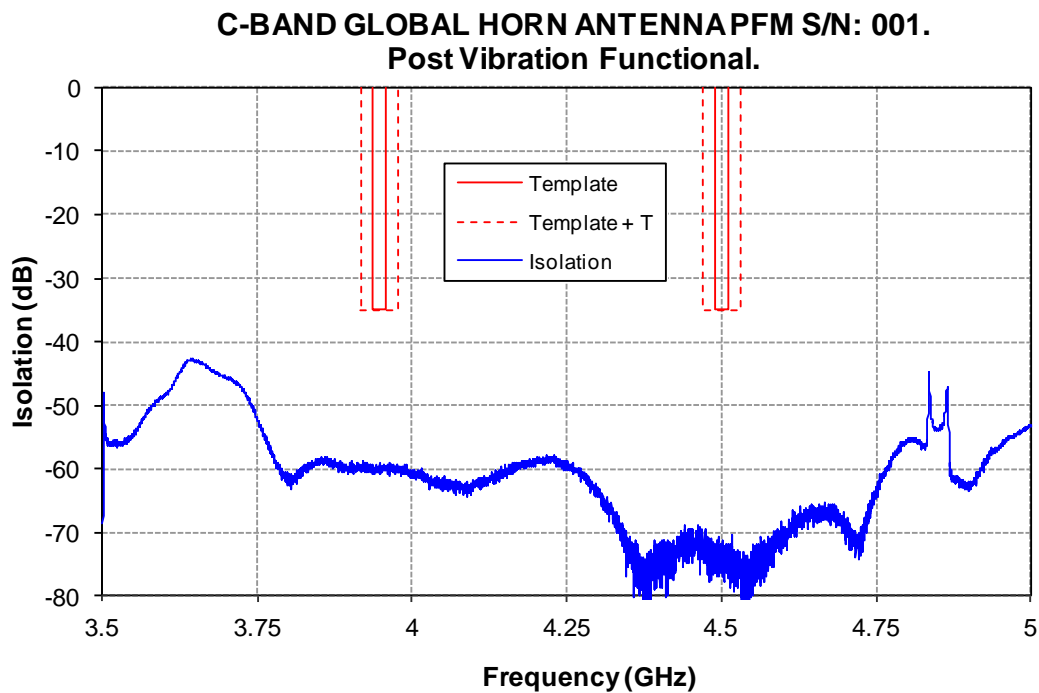


Figura 5.4.1.2.- Aislamiento entre Puertos. Medidas Post Vibración

4.2. Análisis de Resultados

Estas medidas son otro método para comprobar que el Ensayo de Vibración ha salido bien. Tras realizar dicho test, volvemos a medir la Antena para confirmar que el comportamiento de nuestro equipo es el correcto.

Una vez obtenido los resultados, procedemos a compararlos con los obtenidos en las Iniciales, que como ya dijimos, nos servirán como patrón para el resto.

En el caso de las Pérdidas de Retorno, observamos que las medidas no han sufrido cambios significativos, podemos ver que las gráficas son prácticamente idénticas, no hay ninguna variación que nos pueda sugerir que el comportamiento de la Antena vaya cambiado. Los pequeños cambios que podemos observar entre las medidas son normales, como vimos anteriormente, estas variaciones se pueden dar por los asentamientos de las piezas durante la vibración, las pequeñas variaciones en las condiciones de la medida y la propia incertidumbre o error de la medida. En cualquier caso, tras el análisis de las medidas, estos mínimos cambios se consideran normales en el transcurso de la Campaña.

En cuanto al Aislamiento entre Puertos, podemos observar unos cambios algo mayores en los resultados; sin embargo, hay que señalar que es perfectamente normal que, debido al nivel de la señal, en este caso, de entre 60 y 70 dB en las bandas de funcionamiento, cualquier mínima variación durante la realización de la medida influye de manera muy espectacular pero poco importante en la obtención de los resultados y se puede atribuir a la propia incertidumbre de la señal.

En estos casos, la experiencia con muchos otros programas anteriores nos enseña que estos cambios son perfectamente normales que aparezcan en las medidas y que realmente el comportamiento de nuestra Antena no se ha visto comprometido de ningún modo.

Por todo ello, podemos concluir que todos los parámetros están dentro de lo normal y que podemos proseguir con la realización de la Campaña.

5. ENSAYO TÉRMICO Y DE VACÍO

5.1. Introducción

Como ya vimos al principio, es necesario simular de alguna manera los ciclos noche-día a los que se verá sometido el equipo durante su vida operativa en el satélite. Para ello, se dispone de cámaras térmicas de vacío que recrean las condiciones descritas anteriormente.

Como hemos hablado en el Test Plan del capítulo anterior, la parte de Test Eléctrico que se lleva a cabo en la cámara térmica de vacío se realiza con el fin de estudiar el comportamiento del equipo en condiciones extremas de temperatura y presión para simular lo que será su funcionamiento durante la vida útil en el satélite. Para ello, las cámaras de vacío disponen de puertos de entrada-salida que permiten la conexión de cables entre el interior y el exterior, de esta manera podemos medir la antena durante la realización del ensayo para comprobar su respuesta a los ciclos térmicos.

5.2. Realización del Ensayo

Como vimos en el Test Plan del capítulo anterior, hay que realizar el ensayo en dos partes. Primero, la antena sola durante 8 ciclos con medidas en ambiente inicial, en las estabilizaciones del primer y último ciclo, y ambiente final. Y segundo, la antena con el Test Cap puesto y con medidas de todos los parámetros en ambiente inicial, estabilización del caliente, estabilización del frío y ambiente final, además de una calibración del acoplo entre la Antena y el Test Cap cada 30 grados.

Para llevar a cabo el Ensayo, se coloca la antena en el interior de la cámara y se procede a la colocación de los cables, que previamente han sido medidos en el laboratorio para comprobar que son aptos para el test; que conectan la antena y estándares necesarios para las medidas con el puerto de entrada-salida. Por último, se procede a la colocación de los termopares sobre la antena tal y como viene especificado en el Test Plan, que serán los encargados de registrar las temperaturas que alcanza las diferentes partes de la antena durante el ensayo.

Una vez realizado el primer ensayo sobre la antena, la cámara vuelve a temperatura y presión ambiente, se saca la antena y se coloca el Test Cap sobre la apertura. Se vuelve a colocar la antena, esta vez con el Test Cap puesto, dentro de la cámara y se repite el proceso anterior, pero añadiendo los cables y termopares necesarios para comprobar el funcionamiento y temperatura del Test Cap.

Como marca el Procedimiento de Medidas en Cámara, para la realizar las medidas se procede al “enventanado” de los equipos y estándares. Hay que tener en cuenta que las medidas en la cámara son extremadamente difíciles de realizar, hay que tener en cuenta la contribución de todo el set up necesario para las medidas y que dentro de la cámara no se puede colocar material absorbente delante de la apertura de la antena con lo que se producen multitud de reflexiones con las paredes de la cámara.

En las siguientes imágenes podemos observar la Antena y la Antena con el Test Cap preparados para la realización del ensayo.

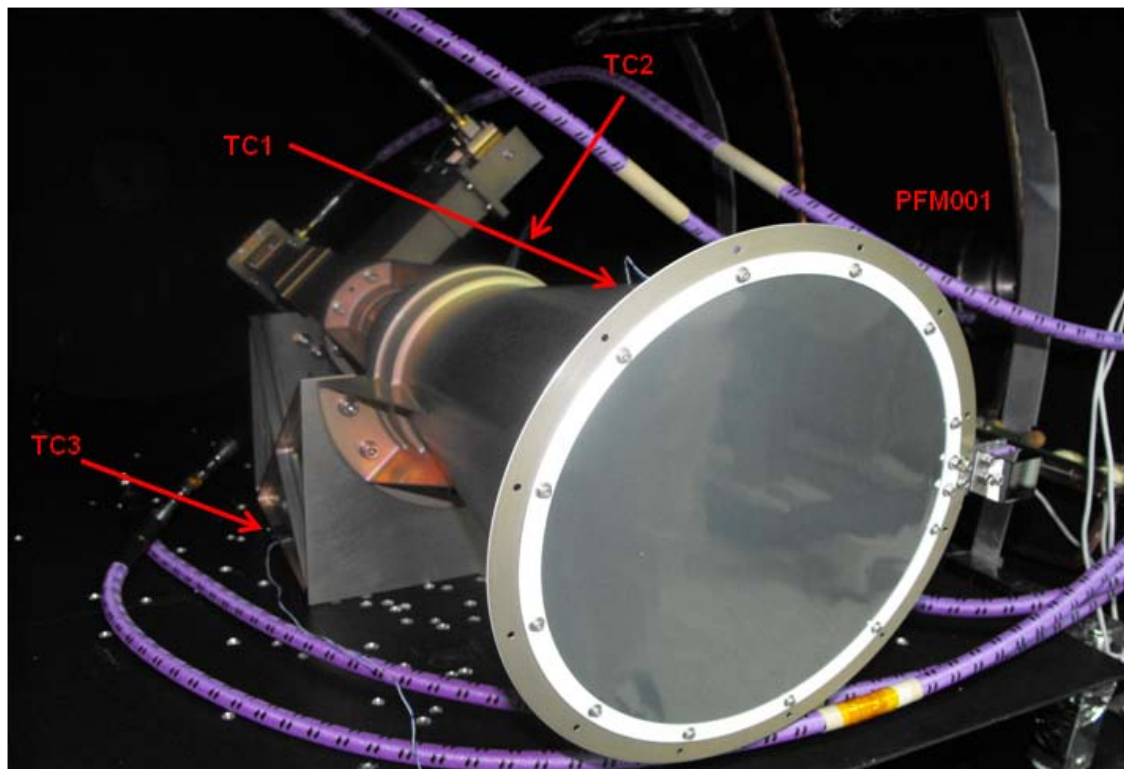


Figura 5.5.2.1.- Antena dentro de la Cámara Térmica de Vacío y localización de los termopares

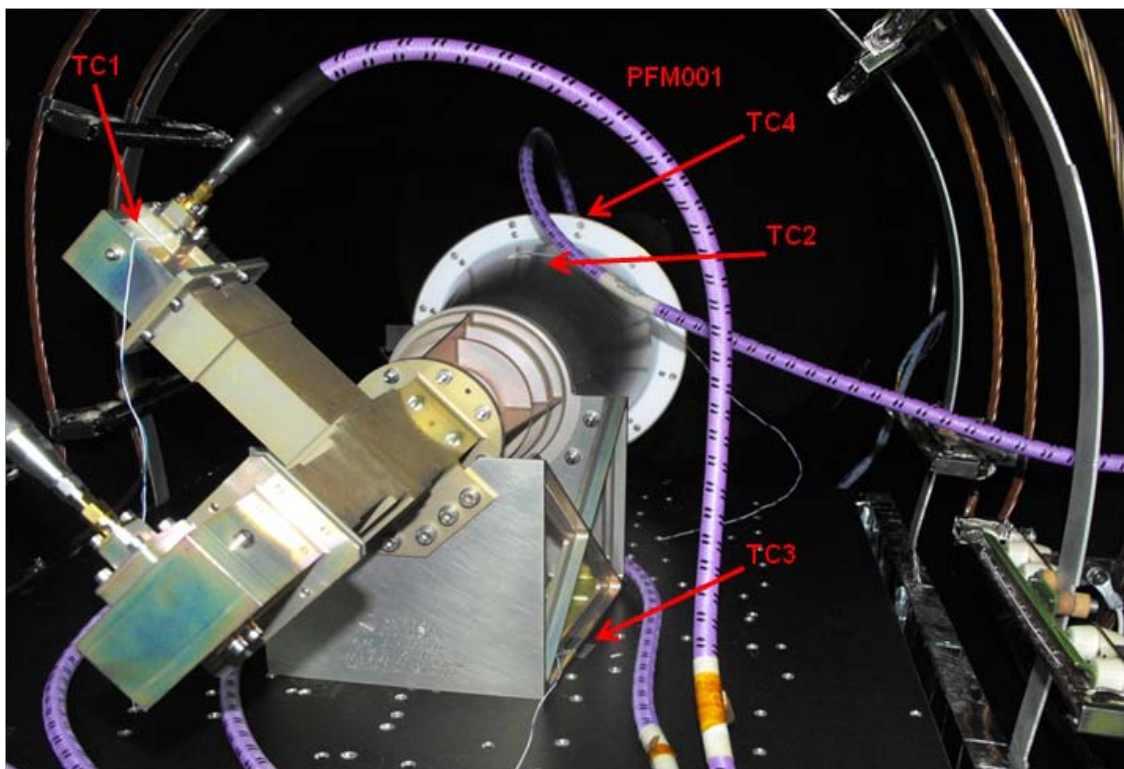


Figura 5.5.2.2.- Antena con el Test Cap dentro de la Cámara Térmica de Vacío y localización de los termopares

5.3. Presentación de Resultados Ambientales

En este punto se presentan las gráficas de los datos recogidos por los termopares de las temperaturas alcanzadas por nuestro equipo, así como la presión registrada en la cámara durante la realización del Ensayo.

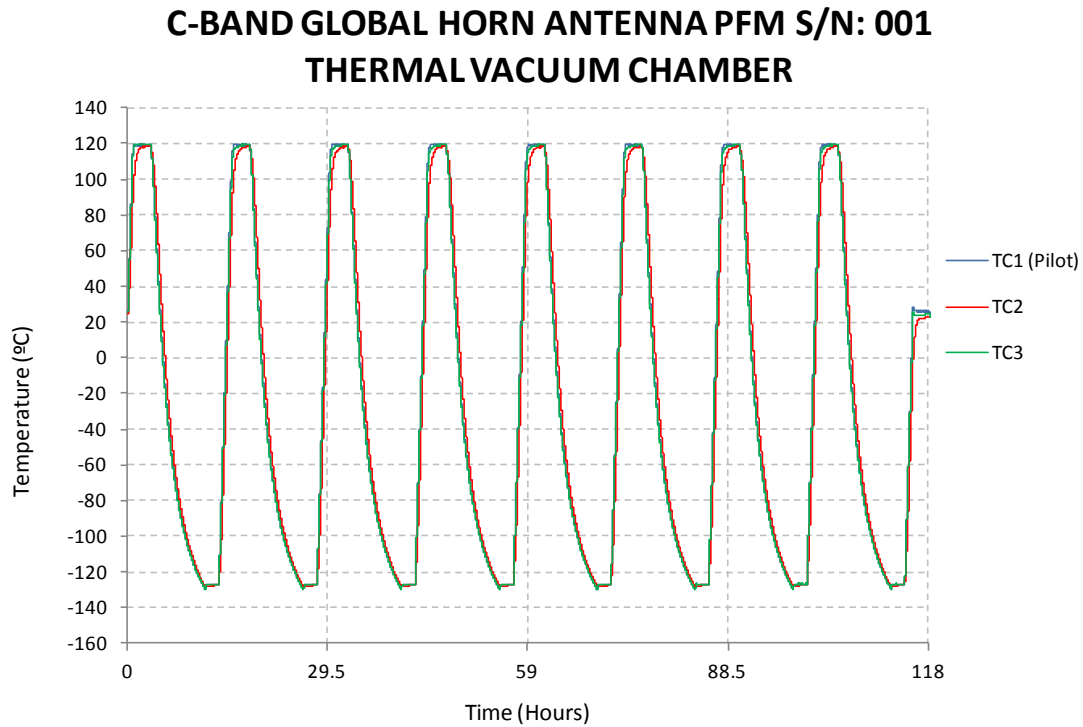


Figura 5.5.3.1.- Temperaturas alcanzadas por la Antena durante el Ensayo

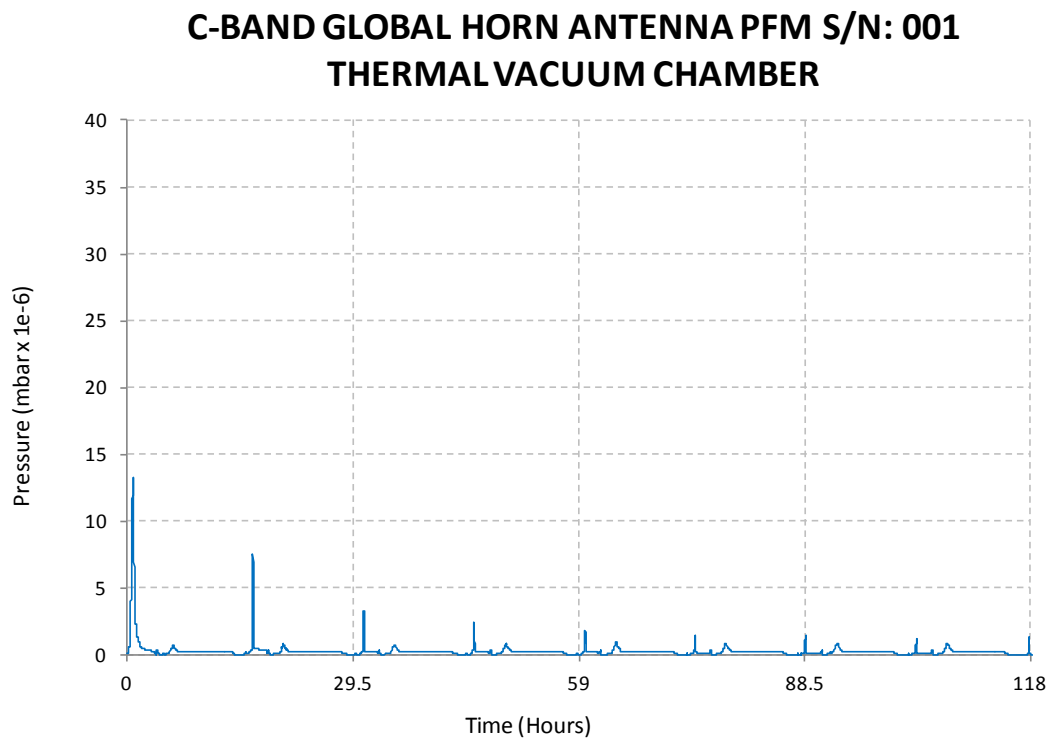


Figura 5.5.3.2.- Presión de la cámara durante el Ensayo de la Antena

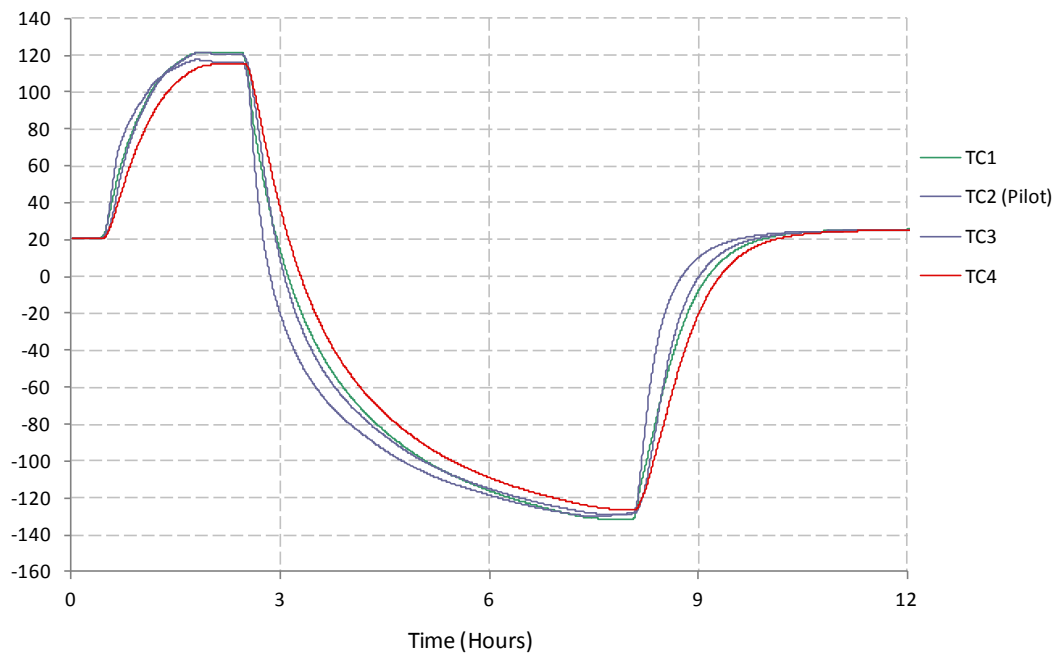
**C-BAND GLOBAL HORN ANTENNA PFM S/N: 001 WITH TEST CAP
THERMAL VACUUM CHAMBER**

Figura 5.5.3.3.- Temperaturas alcanzadas por la Antena con el Test Cap durante el Ensayo

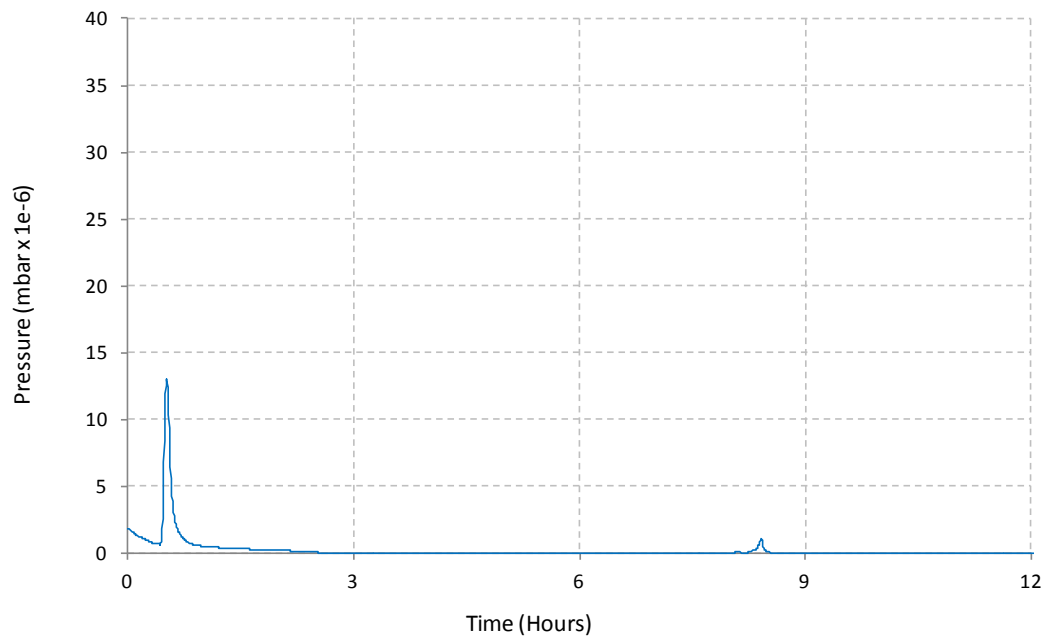
**C-BAND GLOBAL HORN ANTENNA PFM S/N: 001 WITH TEST CAP
THERMAL VACUUM CHAMBER**

Figura 5.5.3.4.- Presión de la cámara durante el Ensayo de la Antena y el Test Cap

5.4. Análisis de Resultados Ambientales

Desde el punto de vista del ensayo mecánico, los parámetros que definen que este test ha sido satisfactorio son:

- El termopar de control (pilot) vaya alcanzado durante el equilibrio de caliente la temperatura marcada por el Test Plan con un margen de $+3^{\circ}\text{C}$.
- El termopar de control (pilot) vaya alcanzado durante el equilibrio de frío la temperatura marcada por el Test Plan con un margen de -3°C .
- La presión de la cámara no supere durante el ensayo el valor marcado en el Test Plan.

Se considera que el equilibrio se alcanza si la temperatura en el termopar de control no varía más de 1°C cada hora.

Los demás termopares se utilizan para comprobar que las temperaturas alcanzadas por todas las partes de la Antena están dentro de los normal y que no hay zonas que se calienten o se enfríen más que las demás, puesto puede deparar en comportamientos no deseados en el satélite.

Las diferentes temperaturas alcanzadas por los termopares durante el ensayo, vienen determinadas por su colocación en la estructura de equipo, posición en la cámara y distancia de estos respecto de las paredes de la cámara. Si no hay grandes disparidades entre las temperaturas de los termopares de las diferentes partes quiere decir que nuestra Antena se comporta de manera homogénea en toda su estructura y no va a ver comportamientos anómalos.

Como podemos observar en las diferentes gráficas de temperatura y presión de ambos test, se puede concluir que el ensayo se ha realizado de manera satisfactoria. Todos los parámetros se encuentran dentro de tolerancia.

5.5. Presentación de Resultados Eléctricos

A continuación podemos observar las medidas realizadas sobre la Antena y la Antena con Test Cap a lo largo del Ensayo. En primer lugar, las medidas de la antena, Pérdidas de Retorno y Aislamiento entre Puertos:

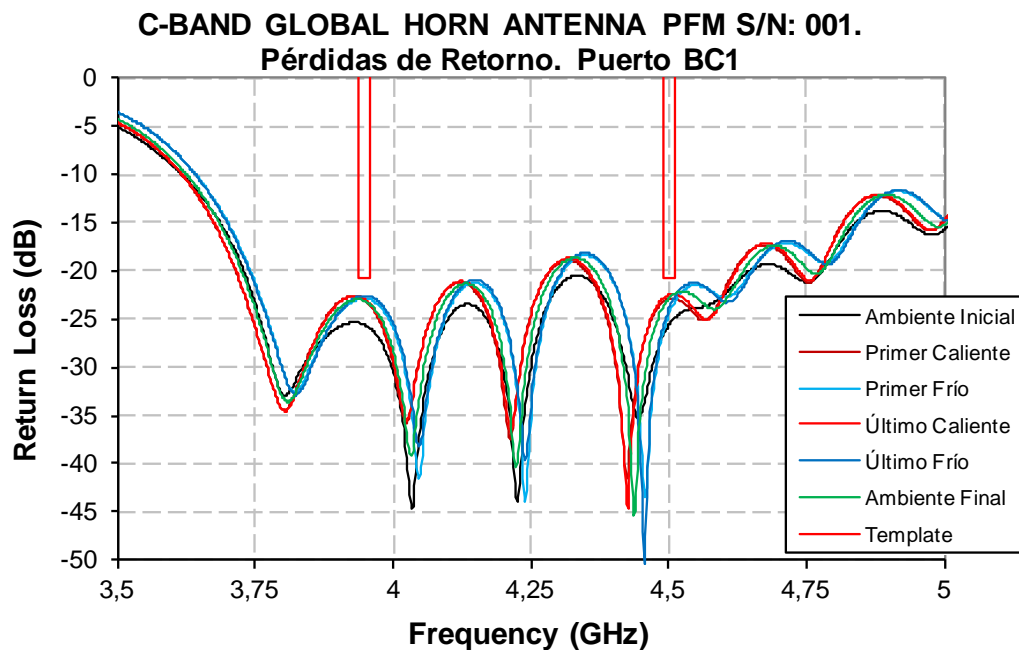


Figura 5.5.5.1.- Pérdidas de Retorno. Puerto BC1. Medidas en Cámara Térmica de Vacío

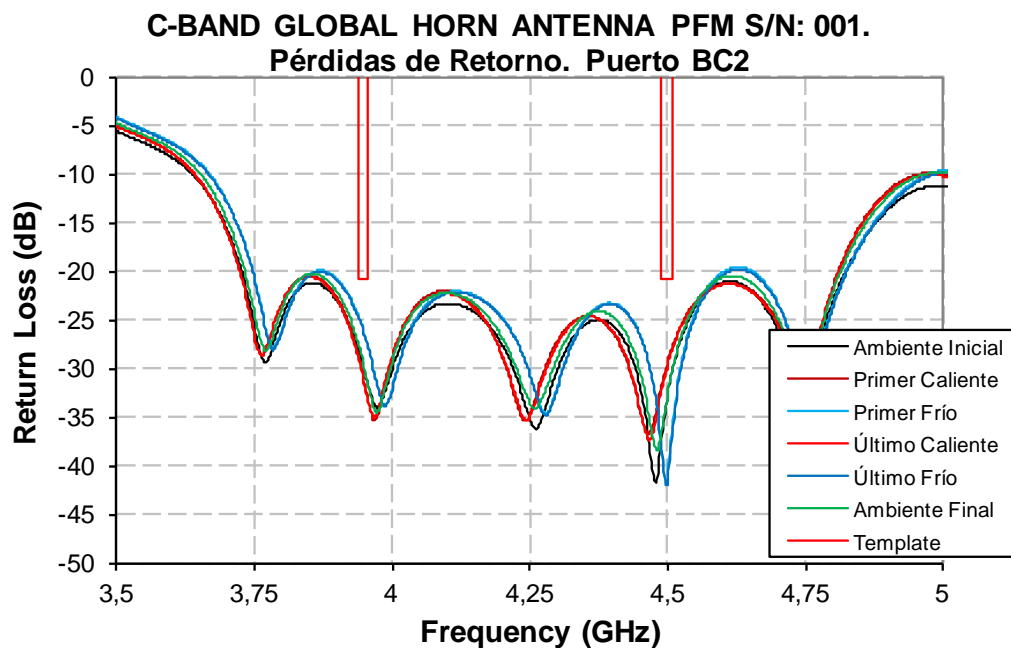


Figura 5.5.5.2.- Pérdidas de Retorno. Puerto BC2. Medidas en Cámara Térmica de Vacío

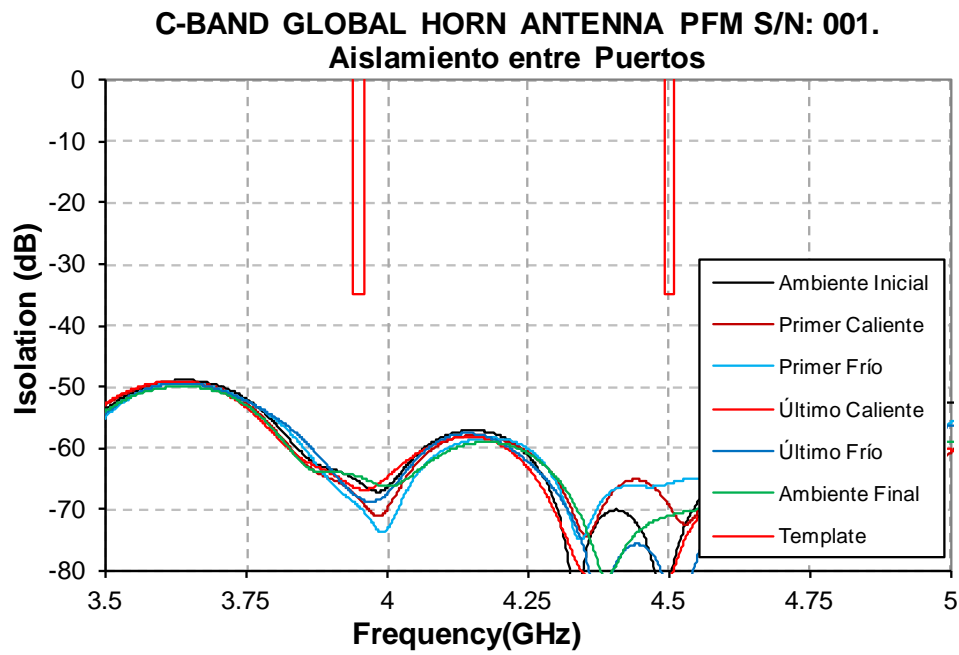


Figura 5.5.5.3.- Aislamiento entre Puertos. Medidas en Cámara Térmica de Vacío

Las medidas del ciclo adicional de la Antena con el Test Cap, son las siguientes, Pérdidas de Retorno de la Antena, Pérdidas de Retorno del Test Cap.

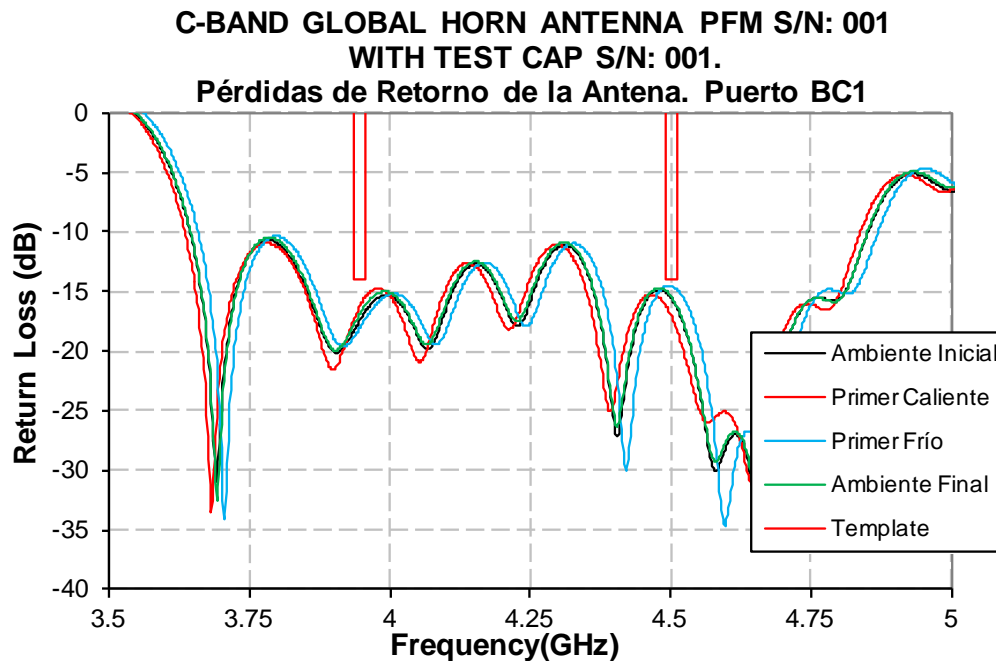


Figura 5.5.5.4.- Pérdidas de Retorno. Puerto BC1. Antena con Test Cap. Medidas en Cámara Térmica de Vacío

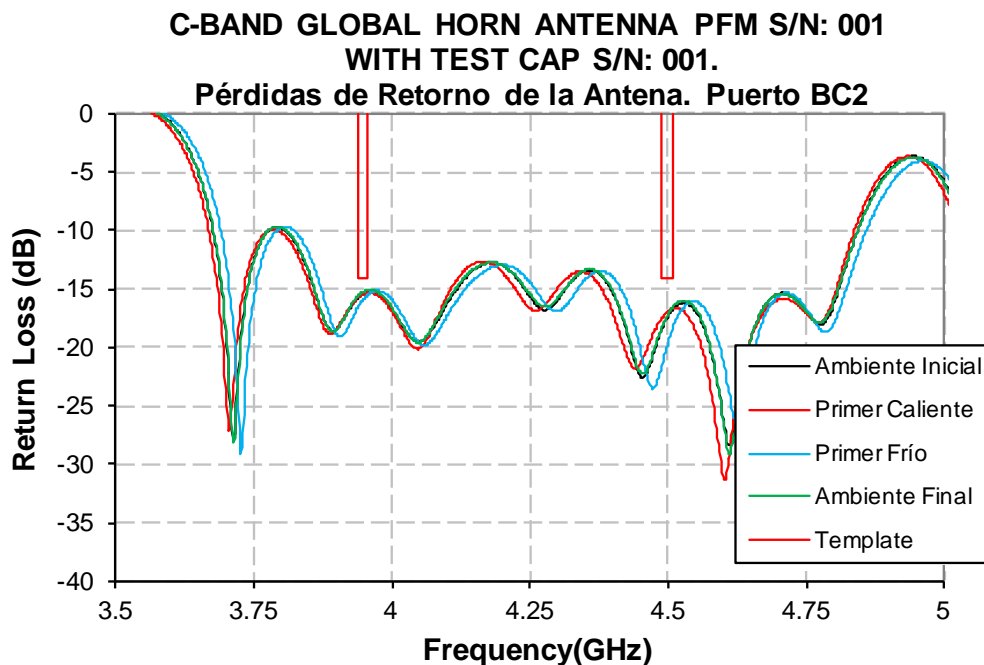


Figura 5.5.5.5.- Pérdidas de Retorno. Puerto BC2. Antena con Test Cap. Medidas en Cámara Térmica de Vacío

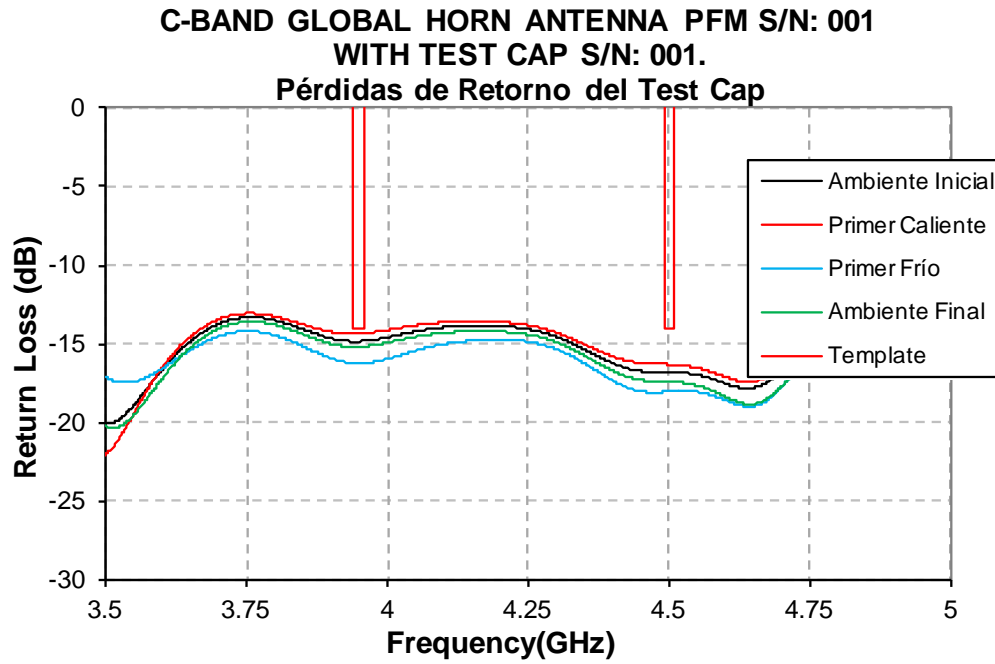


Figura 5.5.5.6.- Pérdidas de Retorno del Test Cap. Medidas en Cámara Térmica de Vacío

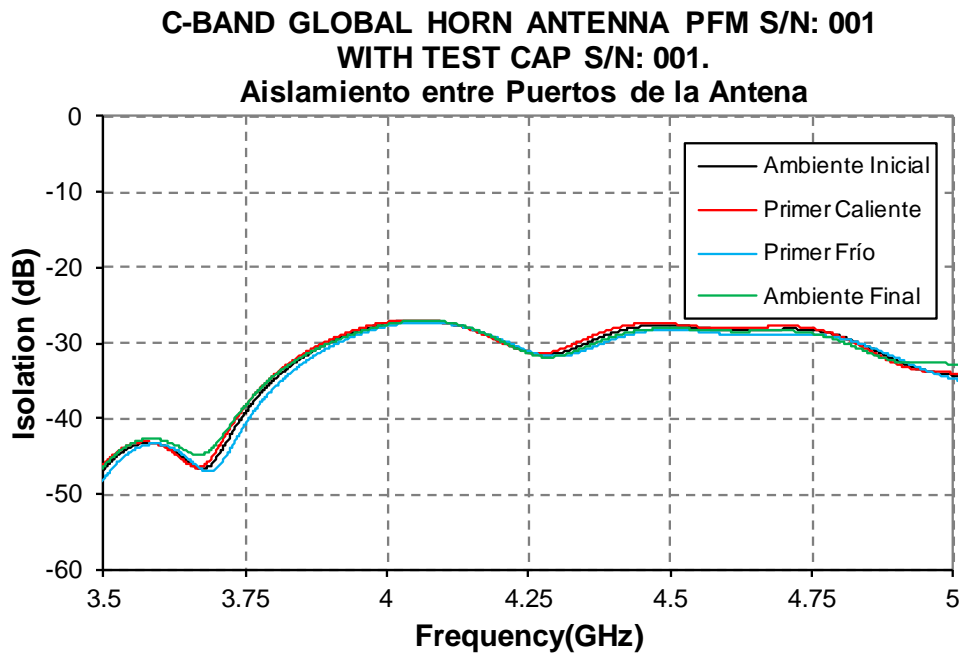


Figura 5.5.5.7.- Aislamiento entre puertos de la Antena con el Test Cap. Medidas en Cámara Térmica de Vacío

Además de la calibración cada 30 grados del acoplo entre los puertos de la Antena y el Test Cap.

**C-BAND GLOBAL HORN PFM S/N: 001 WITH TEST CAP S/N: 001
THERMAL VACUUM CHAMBER
PORT BC1**

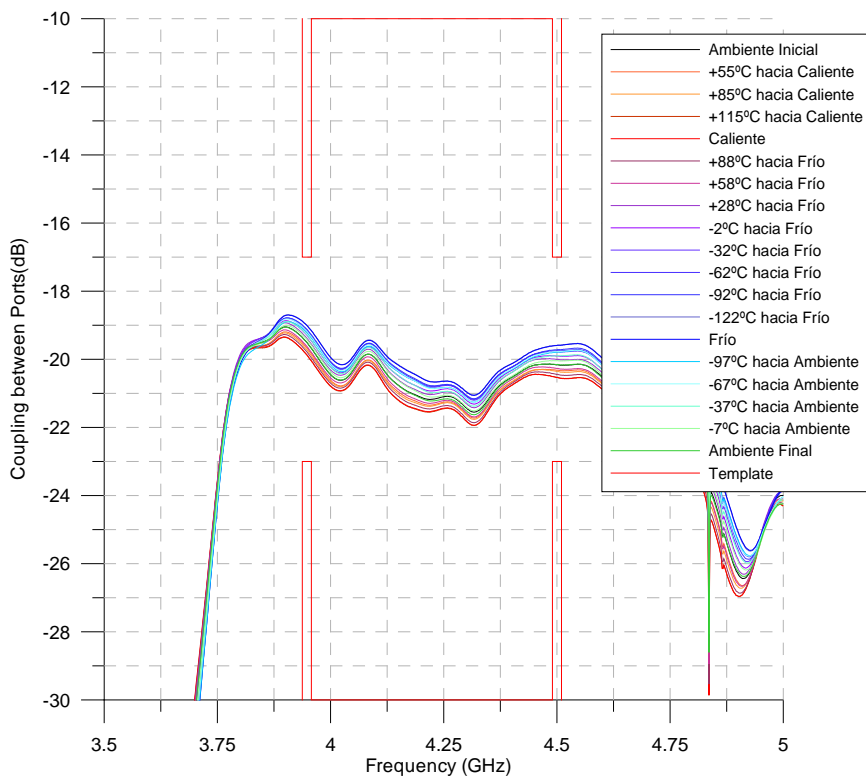


Figura 5.5.5.8.- Acoplo entre Puerto BC1 y Test Cap. Medidas en Cámara Térmica de Vacío

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Peor Valor (dB)</i>
<i>Ambiente Inicial</i>	<i>-19.34</i>
<i>55° hacia Caliente</i>	<i>-19.48</i>
<i>85° hacia Caliente</i>	<i>-19.56</i>
<i>115° hacia Caliente</i>	<i>-19.72</i>
<i>Caliente</i>	<i>-19.71</i>
<i>88° hacia Frío</i>	<i>-19.63</i>
<i>58° hacia Frío</i>	<i>-19.45</i>
<i>28° hacia Frío</i>	<i>-19.23</i>
<i>-2° hacia Frío</i>	<i>-19.13</i>
<i>-32° hacia Frío</i>	<i>-19.04</i>
<i>-62° hacia Frío</i>	<i>-19.00</i>
<i>-92° hacia Frío</i>	<i>-18.96</i>
<i>-122° hacia Frío</i>	<i>-18.87</i>
<i>Frío</i>	<i>-18.88</i>
<i>-97° hacia Ambiente</i>	<i>-19.09</i>
<i>-67° hacia Ambiente</i>	<i>-19.05</i>
<i>-37° hacia Ambiente</i>	<i>-19.16</i>
<i>-7° hacia Ambiente</i>	<i>-19.27</i>
<i>Ambiente Final</i>	<i>-19.36</i>

Tabla 5.5.5.1.- Acoplo entre Puerto BC1 y Test Cap. Medidas en Cámara Térmica de Vacío

**C-BAND GLOBAL HORN PFM S/N: 001 WITH TEST CAP S/N: 001
THERMAL VACUUM CHAMBER
PORT BC2**

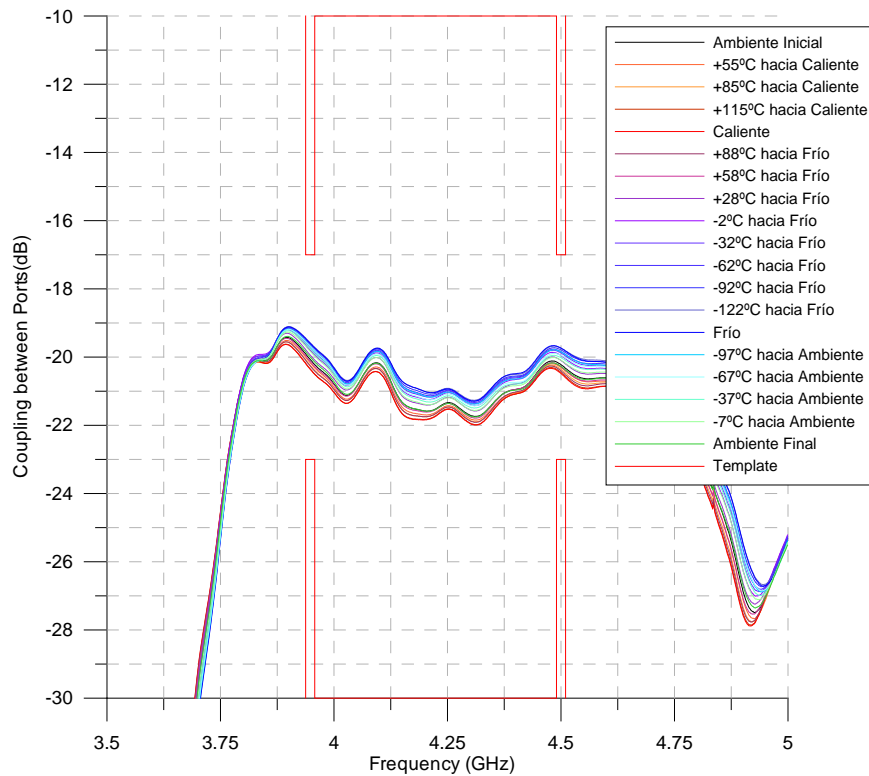


Figura 5.5.5.9.- Acoplo entre Puerto BC2 y Test Cap. Medidas en Cámara Térmica de Vacío

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Peor Valor (dB)</i>
<i>Ambiente Inicial</i>	<i>-19.90</i>
<i>55° hacia Caliente</i>	<i>-20.01</i>
<i>85° hacia Caliente</i>	<i>-20.07</i>
<i>115° hacia Caliente</i>	<i>-20.17</i>
<i>Caliente</i>	<i>-20.19</i>
<i>88° hacia Frío</i>	<i>-20.09</i>
<i>58° hacia Frío</i>	<i>-19.96</i>
<i>28° hacia Frío</i>	<i>-19.78</i>
<i>-2° hacia Frío</i>	<i>-19.63</i>
<i>-32° hacia Frío</i>	<i>-19.56</i>
<i>-62° hacia Frío</i>	<i>-19.52</i>
<i>-92° hacia Frío</i>	<i>-19.48</i>
<i>-122° hacia Frío</i>	<i>-19.44</i>
<i>Frío</i>	<i>-19.46</i>
<i>-97° hacia Ambiente</i>	<i>-19.53</i>
<i>-67° hacia Ambiente</i>	<i>-19.56</i>
<i>-37° hacia Ambiente</i>	<i>-19.62</i>
<i>-7° hacia Ambiente</i>	<i>-19.68</i>
<i>Ambiente Final</i>	<i>-19.84</i>

Tabla 5.5.5.2.- Acoplo entre Puerto BC2 y Test Cap. Medidas en Cámara Térmica de Vacío

5.6. Análisis de los Resultados Eléctricos

Para el análisis de estos resultados es necesario tener en cuenta lo siguiente procesado:

$$M_{CAL} = M_{NA} / M_{SH} \quad \text{reflexión}$$

$$M_{CAL} = M_{NA} / M_{THR} \quad \text{transmisión}$$

Donde:

M_{CAL} = Medida Procesada

M_{NA} = Medida del D.U.T. en el Analizador de Redes

M_{SH} = Medida del Corto

M_{THR} = Medida del Thru

Siguiendo este procesado, corregimos las pérdidas y reflexiones generadas por los cables de medida y los conectores y adaptadores con las medidas realizadas sobre los estándares. De esta manera reducimos el impacto de todo el set up en las medidas en la Cámara Térmica de Vacío.

Gracias a estas gráficas podemos comprobar el margen real necesario para añadir a los templates de laboratorio con el fin de asegurarnos que nuestra Antena cumple con los requisitos especificados por el cliente en temperaturas extremas. Este margen, que se representa en las gráficas como +TEMP, es de [-14; +18] MHz.

Este margen se calcula observando el desplazamiento que se produce en las medidas tomadas durante las estabilizaciones. En nuestro caso, el desplazamiento producido en la estabilización de caliente de 18 MHz hacia la izquierda, es decir, hacia frecuencias más bajas; y el desplazamiento del frío es de 14 MHz hacia la derecha, hacia frecuencias más altas.

Estos desplazamientos están acordes con lo esperado, pues durante el caliente, los materiales del equipo se expanden y aumentan de tamaño, lo que provoca que la longitud de onda de trabajo aumente y por consiguiente disminuya la frecuencia. En el caso del frío ocurre lo contrario, el equipo se contrae y aumenta la frecuencia de trabajo.

Para calcular los márgenes de los templates hay que tener en cuenta que debemos dar la vuelta a los desplazamientos, es decir, como el desplazamiento en caliente se produce hacia frecuencias más bajas hay que tener ‘cuidado’ con que el lado derecho de la señal se meta en el template y por tanto hay que extenderlo por la derecha. En el caso del frío ocurre lo contrario y hay que extenderlo por la izquierda.

En cuanto a las medidas en sí, observamos que, durante el primer test con la Antena sola, se produce una pequeña variación en el nivel de la señal entre las medidas tomadas en el Ambiente Inicial y el Final. Esta variación suele producirse por el primer choque térmico que sufre la Antena, cuando es calentada y enfriada por primera vez durante el primer ciclo y los materiales que la forman se expanden y se contraen. Este fenómeno conlleva posteriormente un proceso de asentamiento de la estructura que hace que el comportamiento eléctrico de la Antena se vea afectado.

Sin embargo, esta fase se suele producir solamente durante el primer y, un poco menos acuciado, segundo ciclo. Por este motivo, durante el Ensayo Térmico en Vacío, se realizan varios ciclos, con el fin de que el equipo se mantenga estable tras el choque térmico.

Como se puede comprobar, las medidas tomadas en las estabilizaciones de los calientes y los fríos, son estables y repetitivas, y están en consonancia con la medida obtenida en el Ambiente Final.

Como confirmación a lo expuesto anteriormente, podemos observar las medidas obtenidas para la Antena con el Test Cap en el segundo Test Térmico realizado. Las medidas de Pérdidas de Retorno y Aislamiento entre Puertos de la Antena, son perfectamente estables y las variaciones son solo debidas al cambio de temperatura, los resultados medidos durante el Ambiente Final están encima de los del Ambiente Inicial.

En el caso de las medidas de Pérdidas de Retorno del Test Cap, al sufrir éste el primer choque térmico en este momento, los resultados obtenidos son menos estables, pero aún dentro de los normal.

La calibración de los Acoplos entre los puertos de la Antena y el Test Cap obedece a una razón. Cuando el cliente realice el ensayo de potencia de la Antena en sus instalaciones, deberá colocar el Test Cap sobre la apertura de la Antena. Al inyectar potencia sobre la antena, parte de la energía se disipará en forma de calor, lo que producirá que la Antena y el Test Cap se caliente y que por tanto, como hemos visto, varíe su comportamiento. Al tener calibrado el Acoplo en temperatura, obteniendo la potencia que le llega al puerto de Test Cap, el cliente siempre podrá saber cuál es la potencia que realmente radia la Antena independientemente de la temperatura que alcancen los equipos.

6. MEDIDAS FINALES

Tras haber realizado satisfactoriamente todos los ensayos anteriores, hay que realizar una última comprobación para asegurarnos del comportamiento definitivo de nuestra Antena. Para ello se realizan las medidas más completas hasta el momento, para poder caracterizar la Antena sin dudas tras todas las pruebas.

Lo ideal durante una campaña es que el comportamiento de un equipo no varíe lo más mínimo. Sin embargo, cabe la posibilidad que tras la realización de todos los ensayos, éste varíe, normalmente debido al asentamiento de las diferentes piezas que componen el equipo.

Es por ello, que son críticas las medidas realizadas a continuación, debemos comprobar que las medidas del equipo son correctas, y en caso de haber variaciones, poder decidir si éstas son normales y no afectan a la viabilidad de la Antena. O si por el contrario hay que concluir que la Antena no ha pasado satisfactoriamente la campaña de ensayos y hay que tomar medidas paliativas y volver a empezar, o descartarla por completo.

Además, si la campaña es satisfactoria, estas medidas caracterizan definitivamente el comportamiento que tendrá nuestro equipo cuando el cliente lo reciba.

Como marca el Test Plan, las medidas finales se dividen en:

- Medidas de Laboratorio
- Medidas de Radiación
- Medidas de ESD

6.1. Medidas Finales de Laboratorio

Para contrarrestar las posibles interferencias y resonancias que se pueden generar en el laboratorio, se procede a colocar material absorbente delante de la apertura de la antena, además, se coloca una carga en los puertos que no se están midiendo en ese momento.

Los resultados mostrados a continuación llevan incluidos en la especificación los márgenes por las temperaturas extremas (representado como $T_{\text{Template}}+T$).

Las medidas realizadas sobre la antena son, Pérdidas de Retorno y Aislamiento entre Puertos.

6.1.1. Presentación de Resultados

Las siguientes figuras muestran los resultados de la antena:

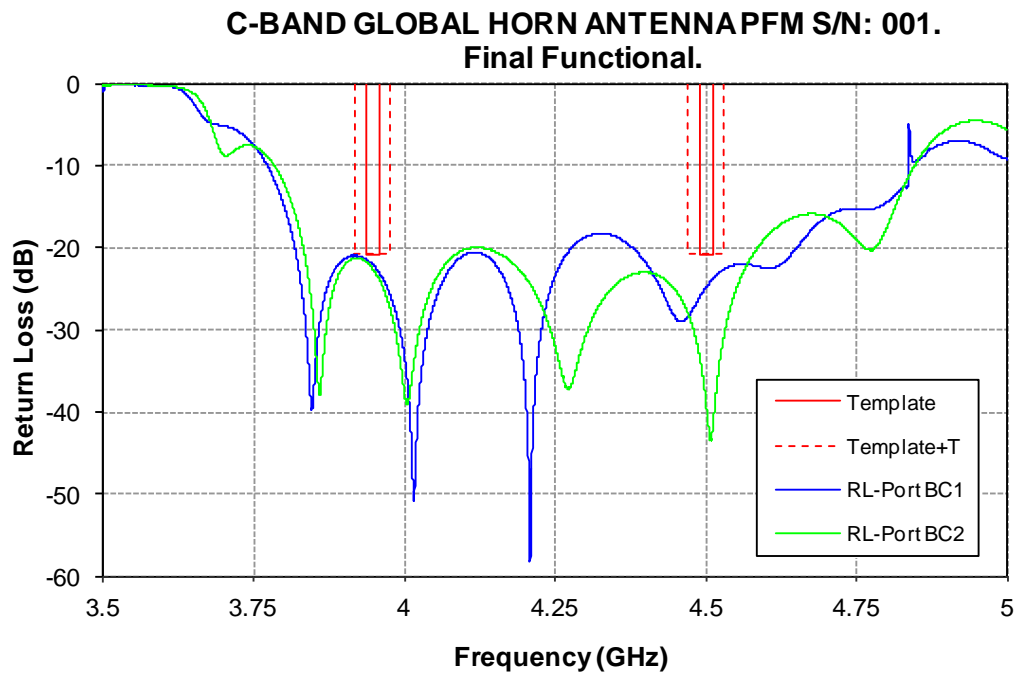


Figura 5.6.1.1.1.- Pérdidas de Retorno. Medidas Finales.

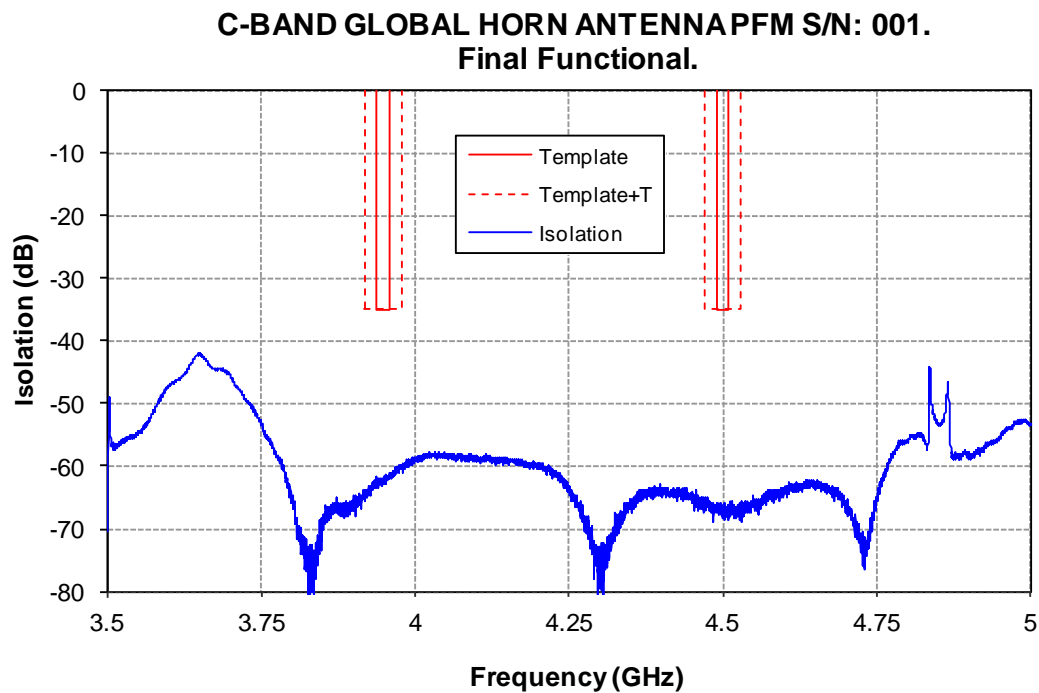


Figura 5.6.1.1.2.- Aislamiento entre Puertos. Medidas Finales

Las medidas realizadas sobre la Antena con el Test Cap son, Pérdidas de Retorno de los puertos de la Antena, Pérdidas de Retorno del puerto del Test Cap, Acoplo entre los puertos de la Antena y el Test Cap y Aislamiento entre Puertos de la Antena.

A continuación, se muestran los resultados de la antena y el test cap:

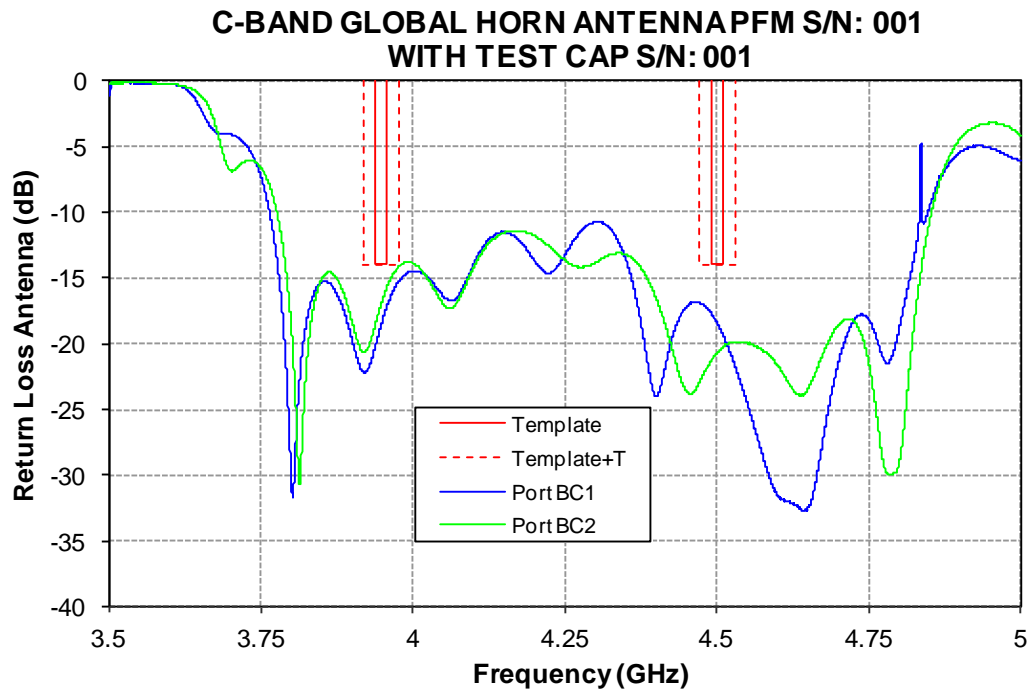


Figura 5.6.1.1.3.- Pérdidas de Retorno de la Antena con el Test Cap. Medidas Finales.

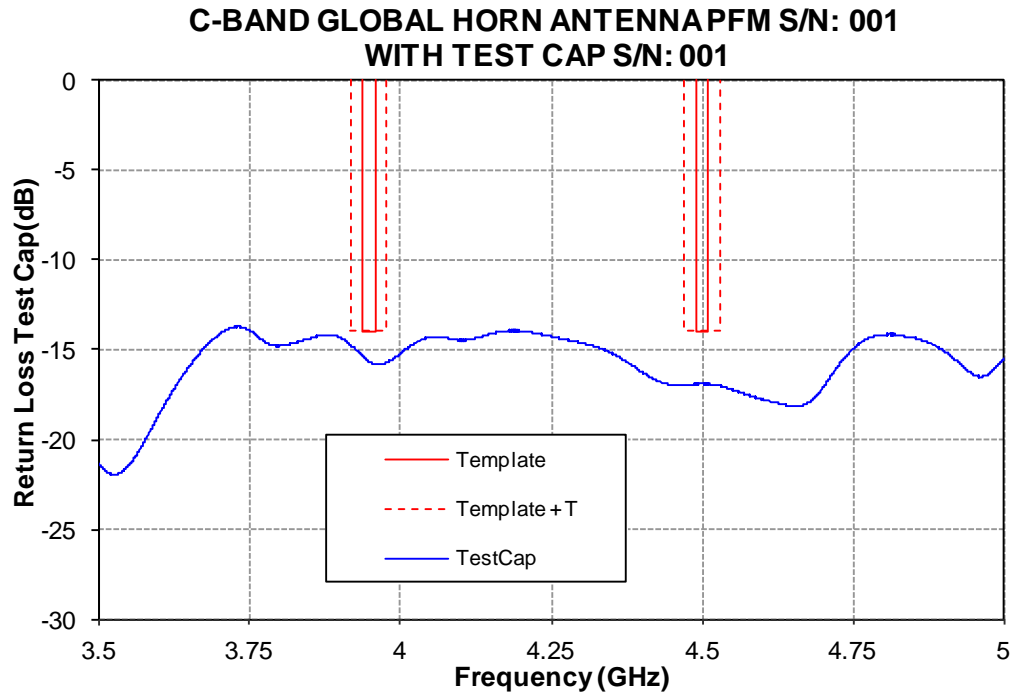


Figura 5.6.1.1.4.- Pérdidas de Retorno del Test Cap. Medidas Finales.

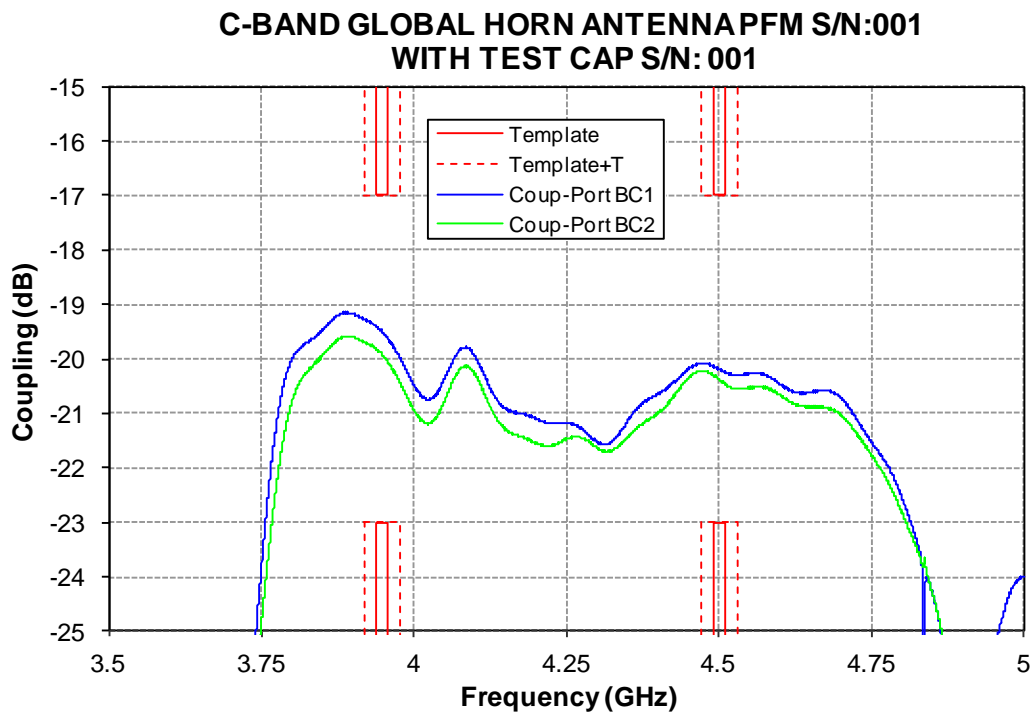


Figura 5.6.1.1.5.- Acoplo entre Antena y Test Cap. Medidas Finales.

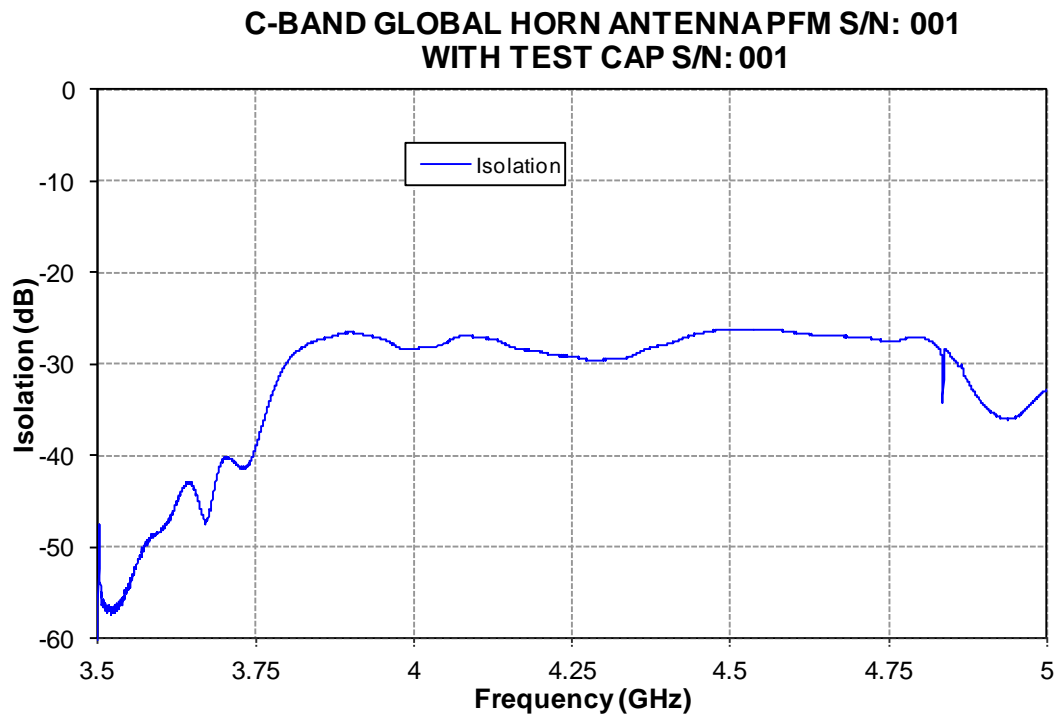


Figura 5.6.1.1.6.- Aislamiento entre Puertos de la Antena con el Test Cap. Medidas Finales.

6.1.2. Análisis de Resultados

Tras haber realizado con éxito todos los Ensayos Ambientales y Eléctricos anteriores, debemos analizar los resultados obtenidos de las medidas finales. Estos resultados determinarán si podemos dar por satisfactoria la Campaña de Verificación de nuestra Antena y si podemos entregársela a nuestro cliente.

Observamos en primer lugar las gráficas de los parámetros medidos de la Antena sola. Primero las Pérdidas de Retorno de los puertos de entrada de la Antena. Como apreciamos en las medidas post vibración, la forma de la señal se mantiene estable en finales, cabe destacar que hay una ligera variación en el nivel de dicha señal. Tanto en iniciales como en post vibración, obteníamos un mayor margen en las bandas.

Sin embargo, como apuntamos en el análisis de las medidas en la Cámara Térmica de Vacío, esta variación está producida por el choque térmico y se trata de un proceso normal y que por tanto, cabía esperar que se reflejará en las medidas finales de laboratorio. Por ello, y como la Antena sigue cumpliendo con la especificación, esta medida se da por buena.

Ahora, hablaremos del Aislamiento entre Puertos de la Antena. Una vez más, existe una variación en la medida, pero como vimos en post vibración, se encuentra dentro de lo aceptable debido al nivel tan excepcionalmente bajo en el que se mueve la señal.

En segundo lugar, vamos a analizar las medidas obtenidas para la Antena con el Test Cap. Como podemos observar en las gráficas, los resultados obtenidos en finales, están completamente en consonancia con lo que hemos visto hasta ahora y en sintonía con los valores obtenidos en iniciales. Todas las medidas muestran estabilidad y las pequeñas variaciones se pueden considerar que están dentro de los parámetros normales.

Todos los resultados obtenidos durante las medidas finales de laboratorio siguen cumpliendo con las especificaciones del cliente y después de estudiar el análisis hecho anteriormente podemos concluir que nuestra Antena cumple los requisitos eléctricos exigidos por nuestro cliente.

6.2. Medidas Finales de Radiación

Una vez realizadas las medidas finales de laboratorio, procedemos a volver a medir la Antena en radiación en el Compact Range.

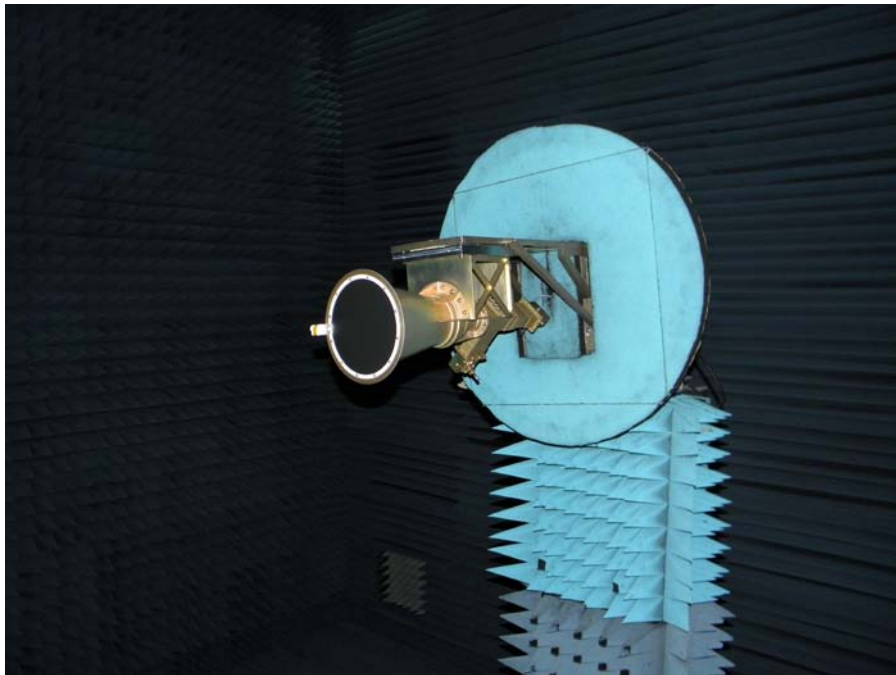


Figura 5.6.2.1.- C-Band BEACON HORN en el Compact Range. Medidas Finales.

Para la realización de las medidas se procede de la misma forma que en las iniciales, las únicas variaciones es que durante las medidas finales se procederá a medir la Ganancia de la Antena con el Test Cap y la Ganancia de la Antena fuera de Banda.

6.2.1. Presentación de Resultados

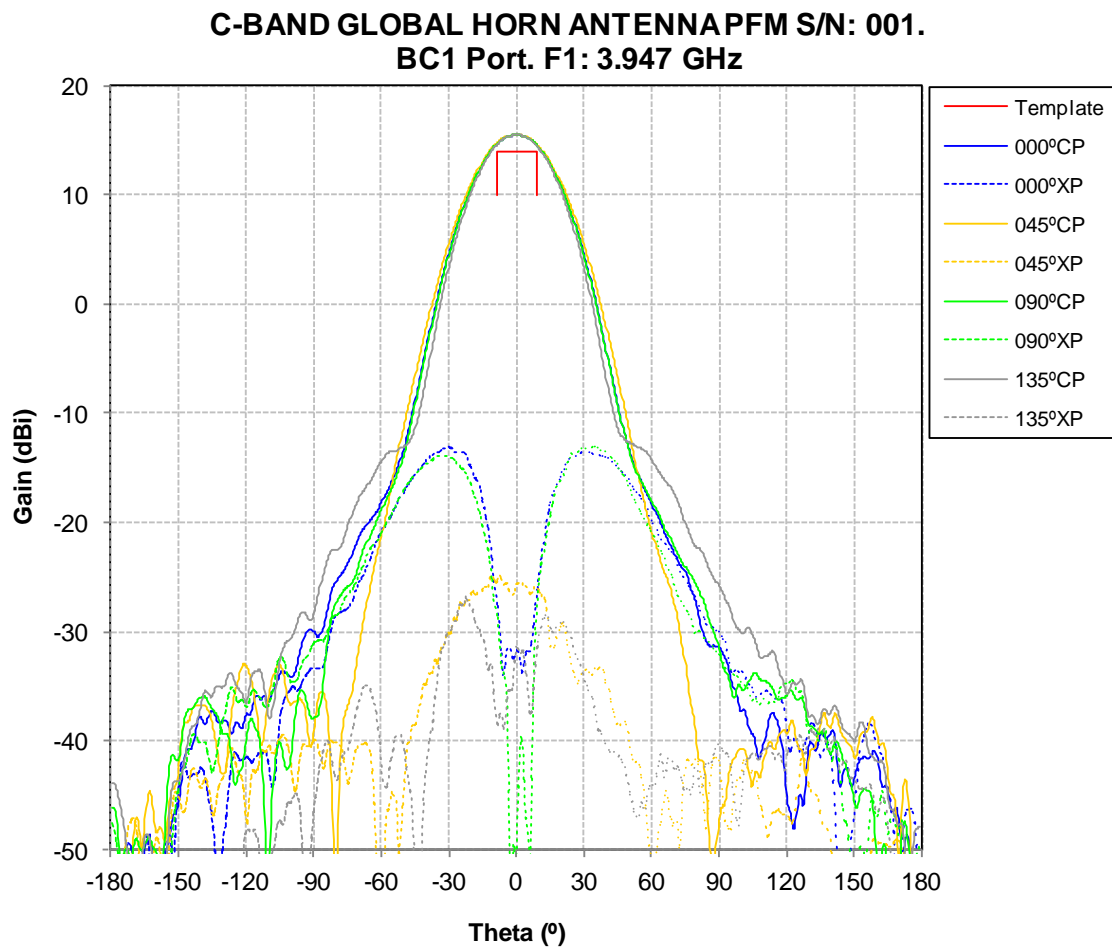


Figura 5.6.2.1.1.- Diagrama de Radiación. Puerto BC1. F1: 3.947 GHz. Medidas Finales

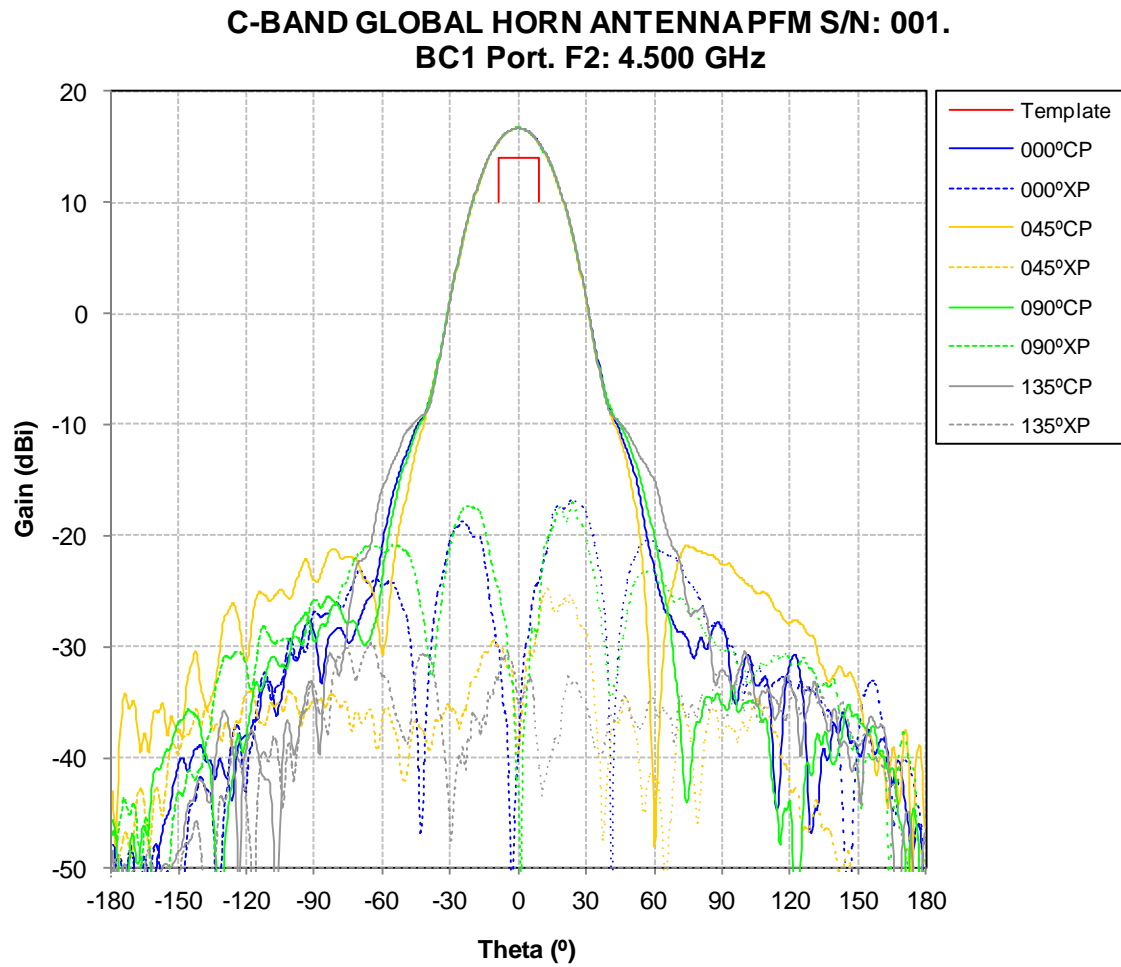


Figura 5.6.2.1.2.- Diagrama de Radiación. Puerto BC1. F2: 4.5 GHz. Medidas Finales

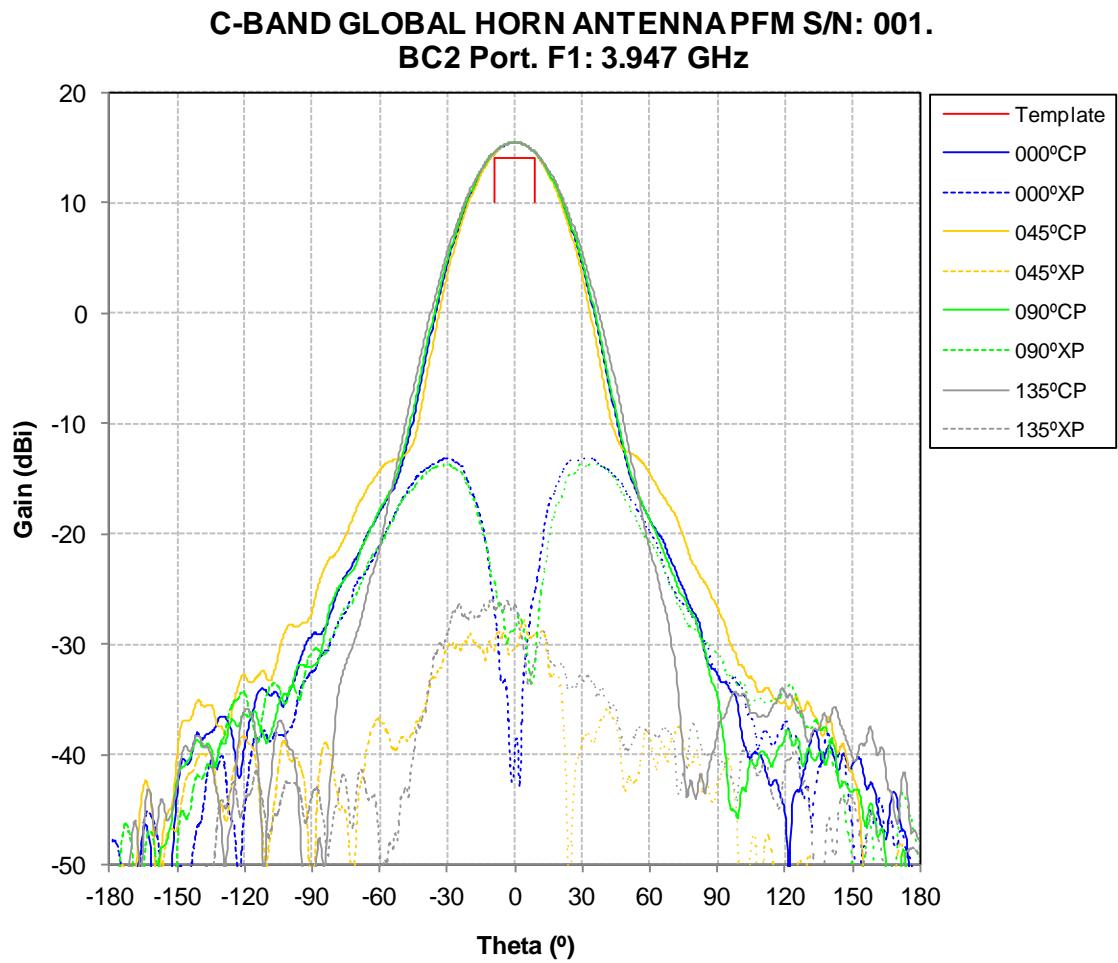


Figura 5.6.2.1.3.- Diagrama de Radiación. Puerto BC2. F1: 3.947 GHz. Medidas Finales

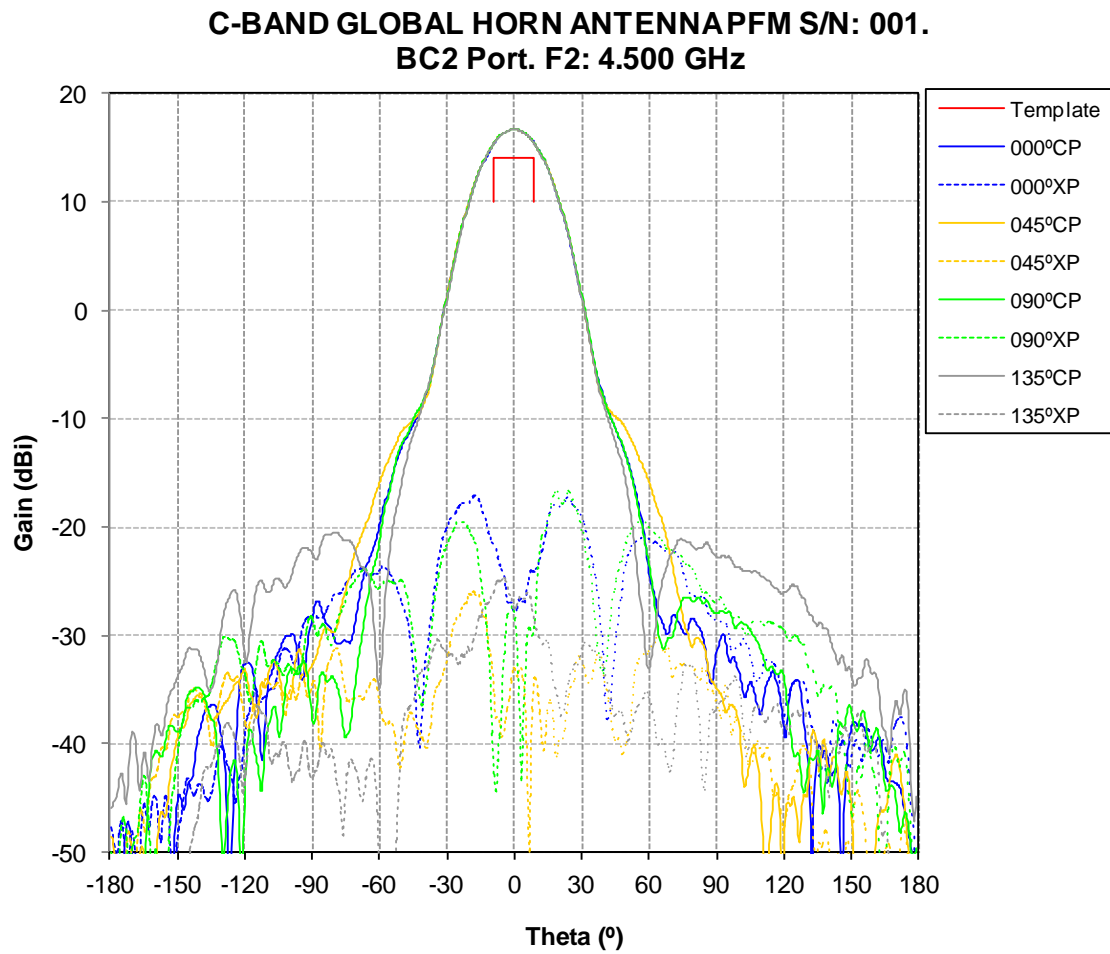


Figura 5.6.2.1.4.- Diagrama de Radiación. Puerto BC2. F2: 4.5 GHz. Medidas Finales

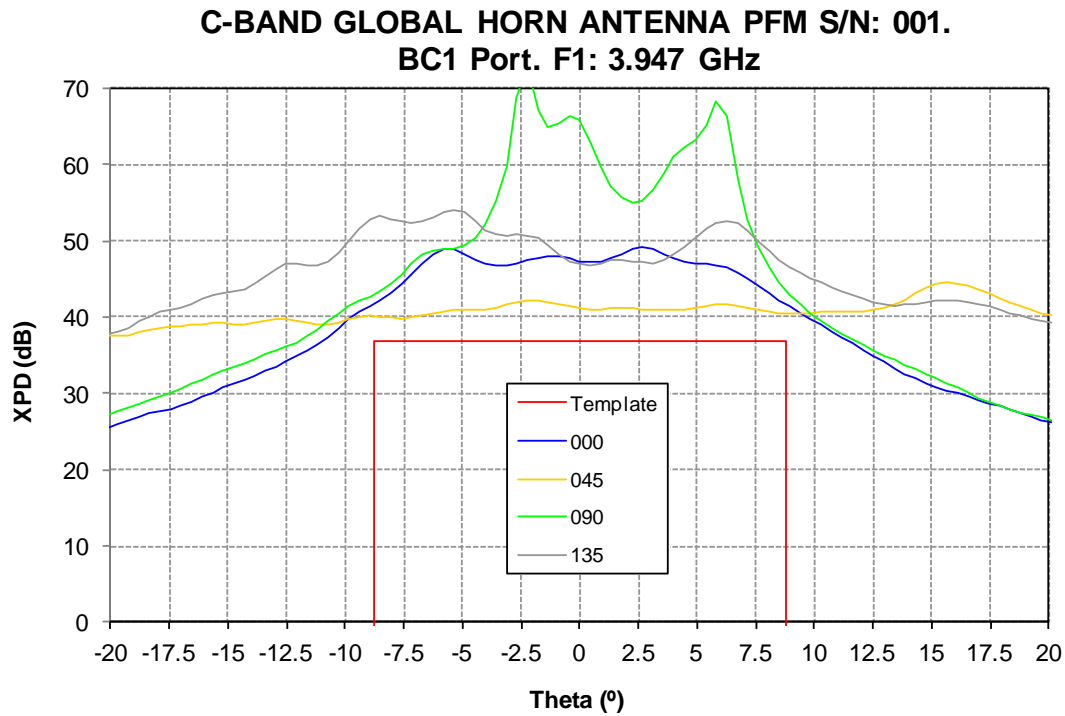


Figura 5.6.2.1.5.- Crosspolar Discrimination. Puerto BC1. F1: 3.947 GHz. Medidas Finales

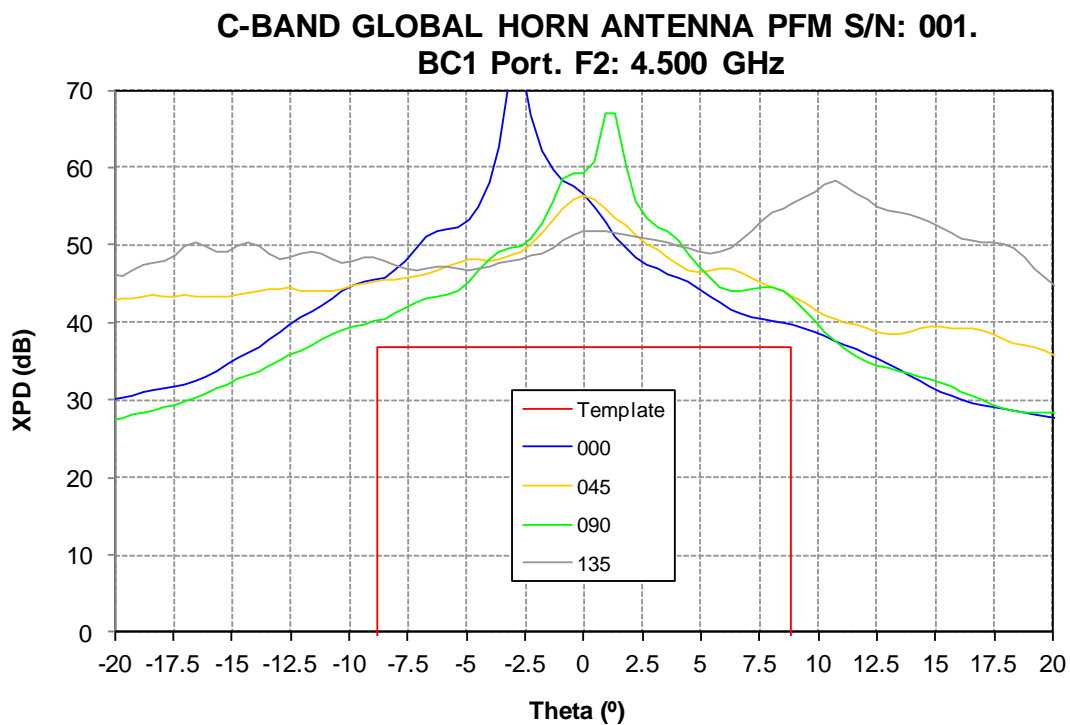


Figura 5.6.2.1.6.- Crosspolar Discrimination. Puerto BC1. F2: 4.5 GHz. Medidas Finales

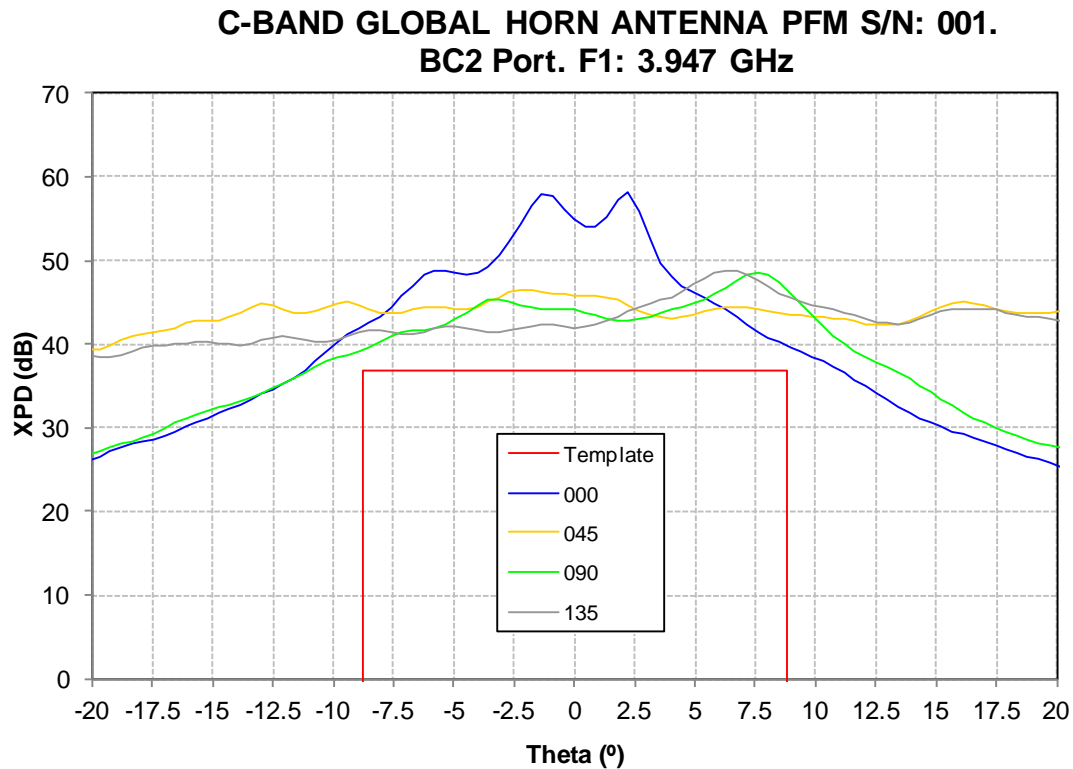


Figura 5.6.2.1.7.- Crosspolar Discrimination. Puerto BC2. F1: 3.947 GHz. Medidas Finales

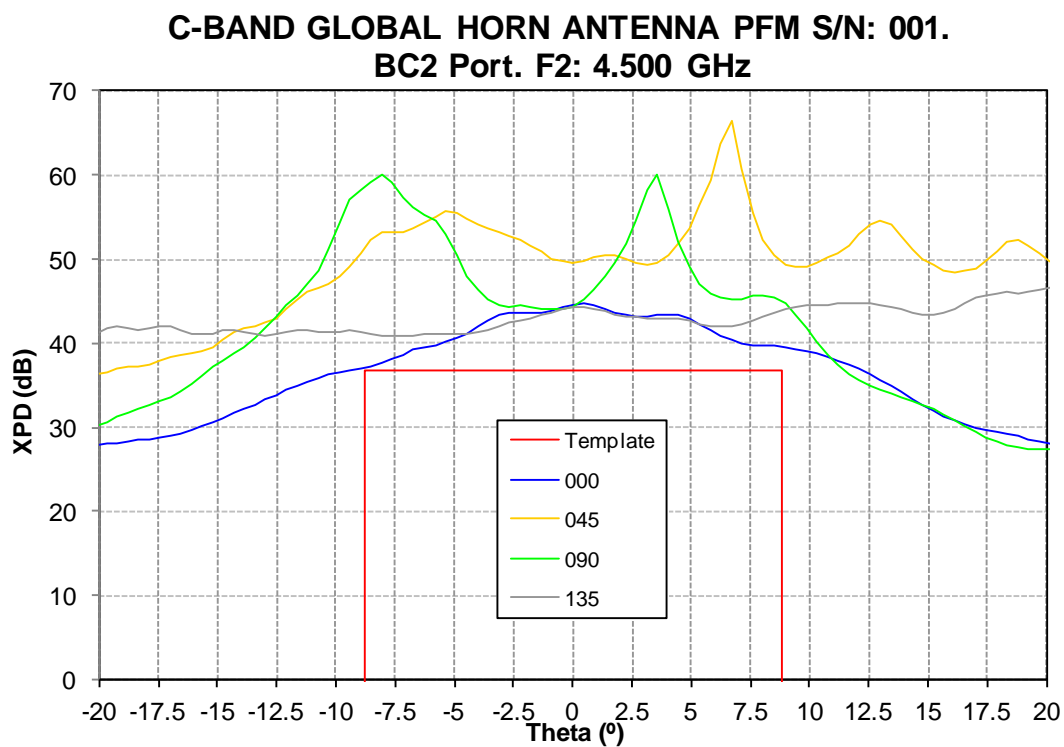


Figura 5.6.2.1.8.- Crosspolar Discrimination. Puerto BC2. F2: 4.5 GHz. Medidas Finales

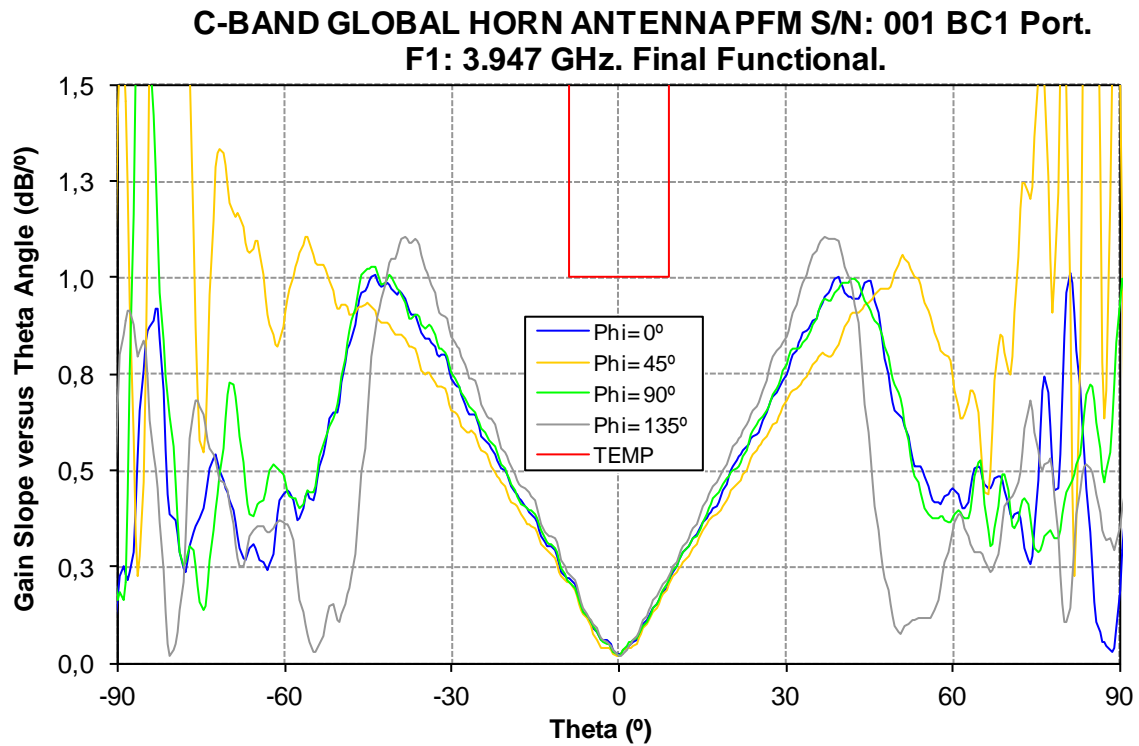


Figura 5.6.2.1.9.- Gain Slope. Puerto BC1. F1: 3.947 GHz. Medidas Finales

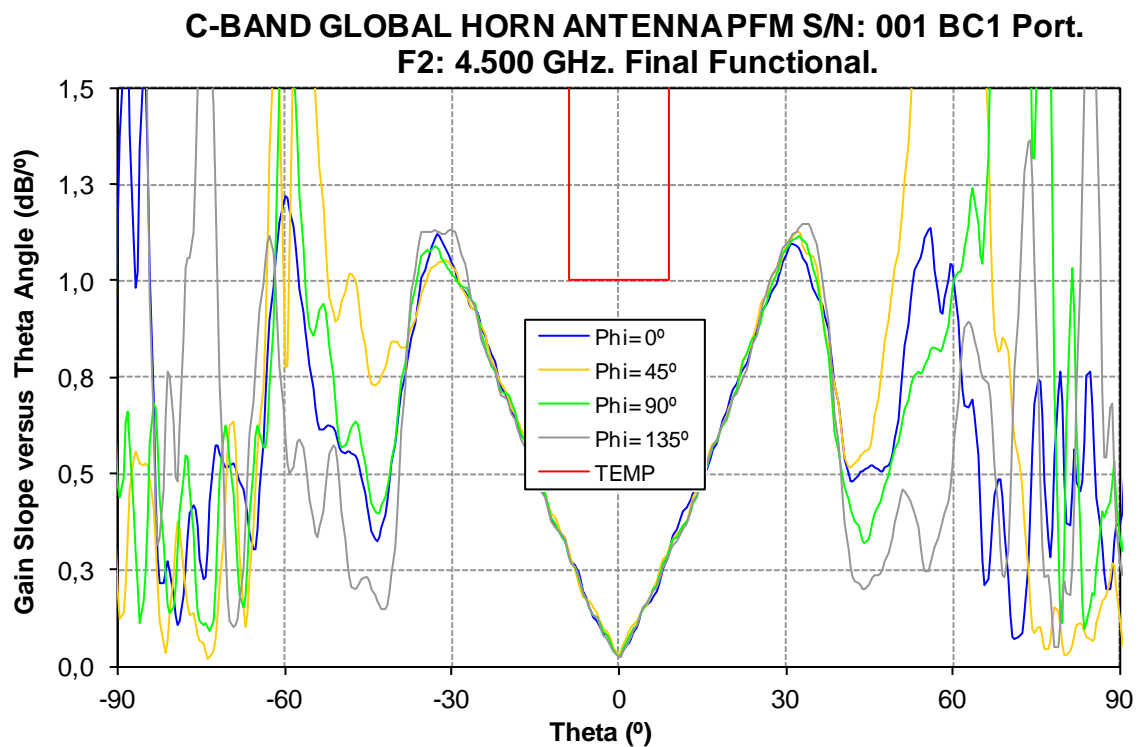


Figura 5.6.2.1.10.- Gain Slope. Puerto BC1. F2: 4.5 GHz. Medidas Finales

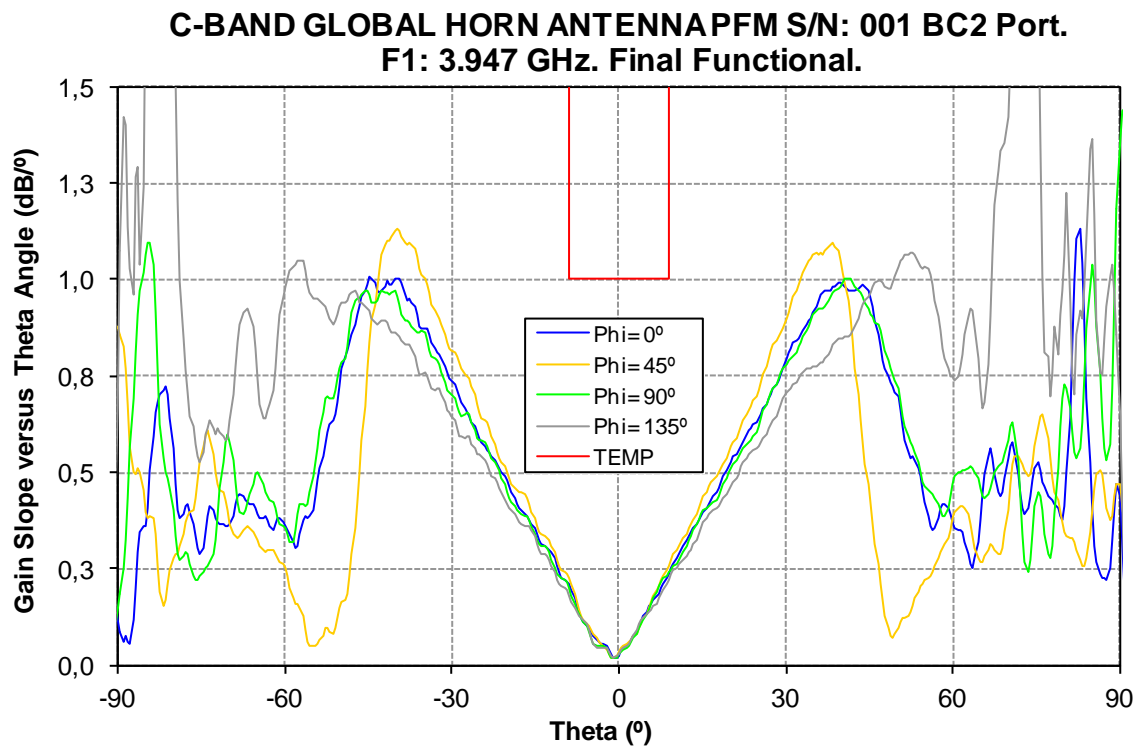


Figura 5.6.2.1.11.- Gain Slope. Puerto BC2. F1: 3.947 GHz. Medidas Finales

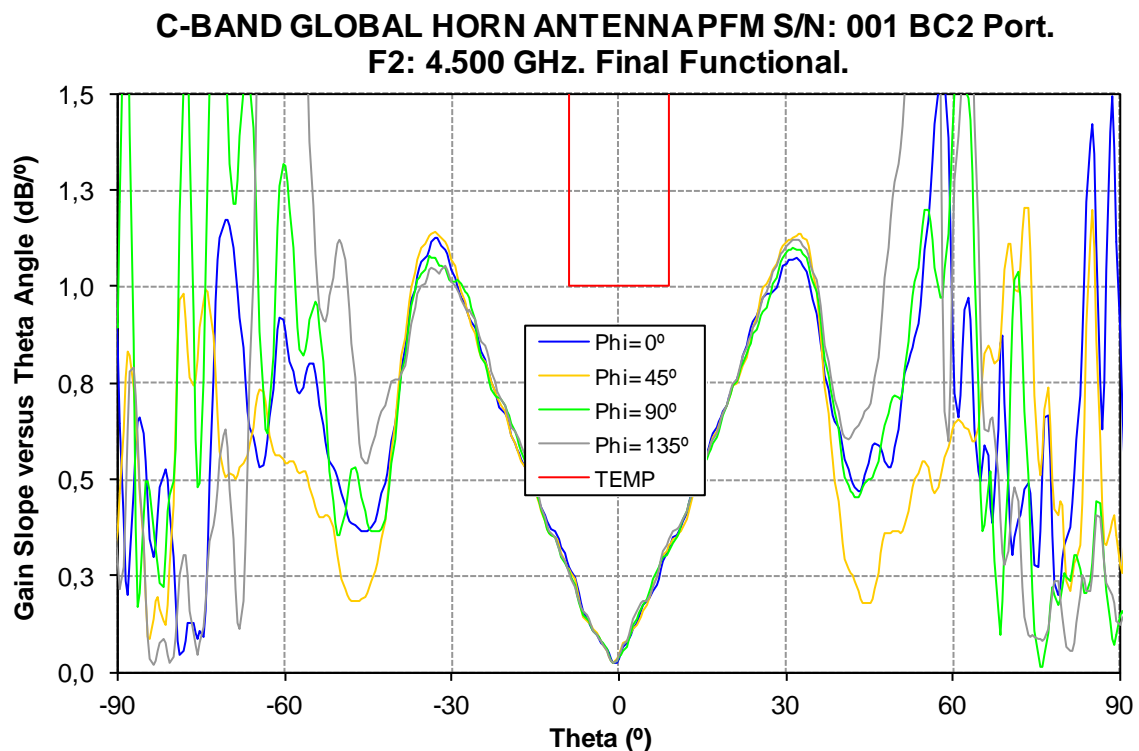


Figura 5.6.2.1.12.- Gain Slope. Puerto BC2. F2: 4.5 GHz. Medidas Finales

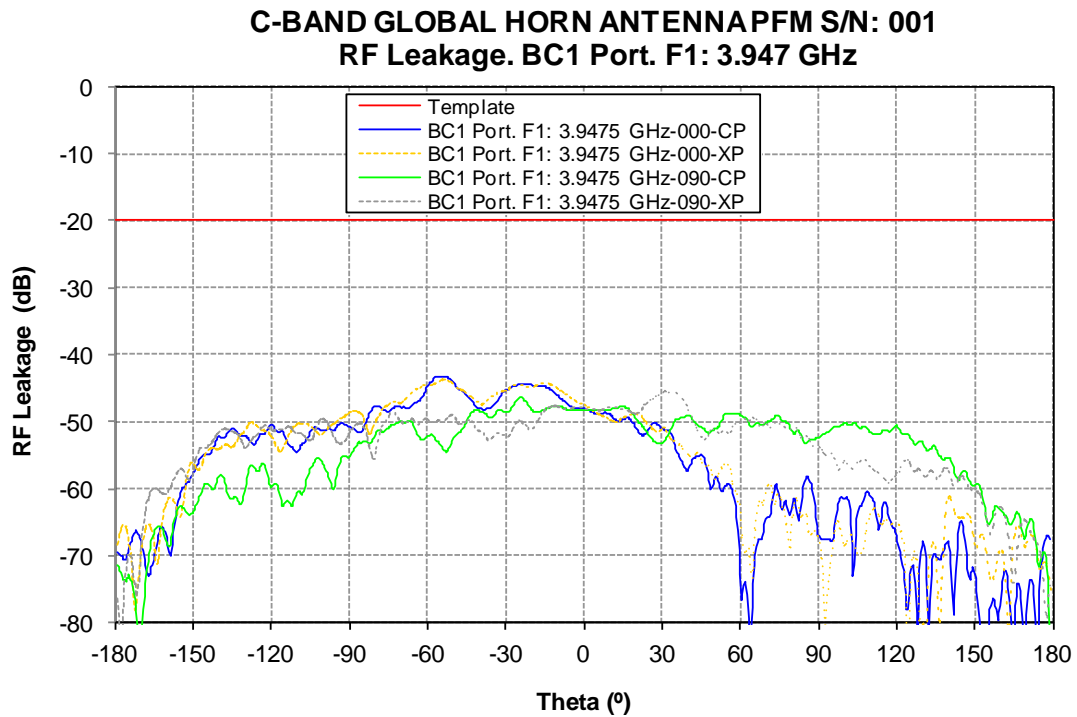


Figura 5.6.2.1.13.- Ganancia de la Antena con el Test Cap. Puerto BC1.
F1: 3.947 GHz. Medidas Finales

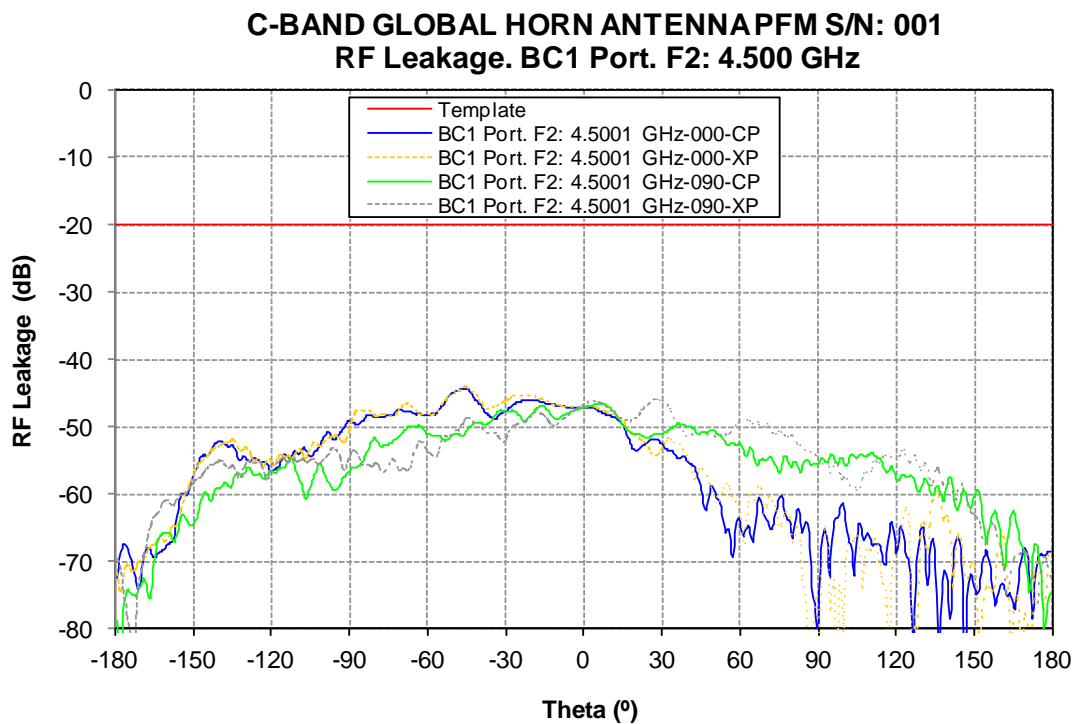


Figura 5.6.2.1.14.- Ganancia de la Antena con el Test Cap. Puerto BC1.
F1: 3.947 GHz. Medidas Finales

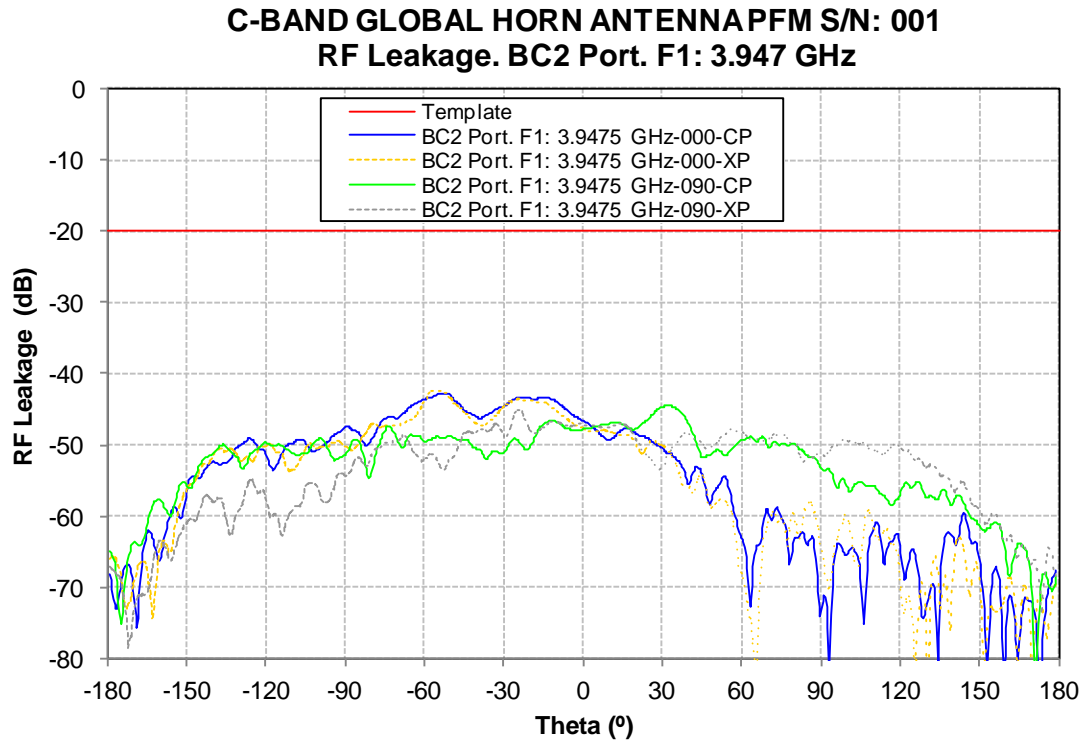


Figura 5.6.2.1.15.- Ganancia de la Antena con el Test Cap. Puerto BC1.
F1: 3.947 GHz. Medidas Finales

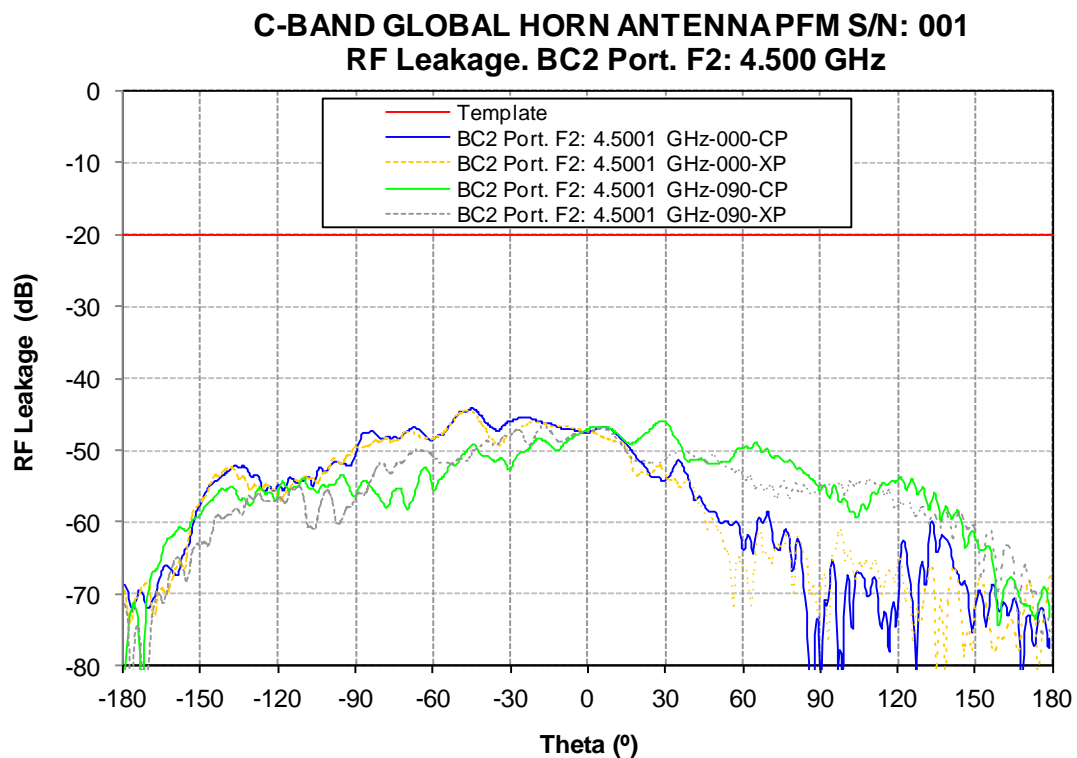


Figura 5.6.2.1.16.- Ganancia de la Antena con el Test Cap. Puerto BC1.
F1: 3.947 GHz. Medidas Finales

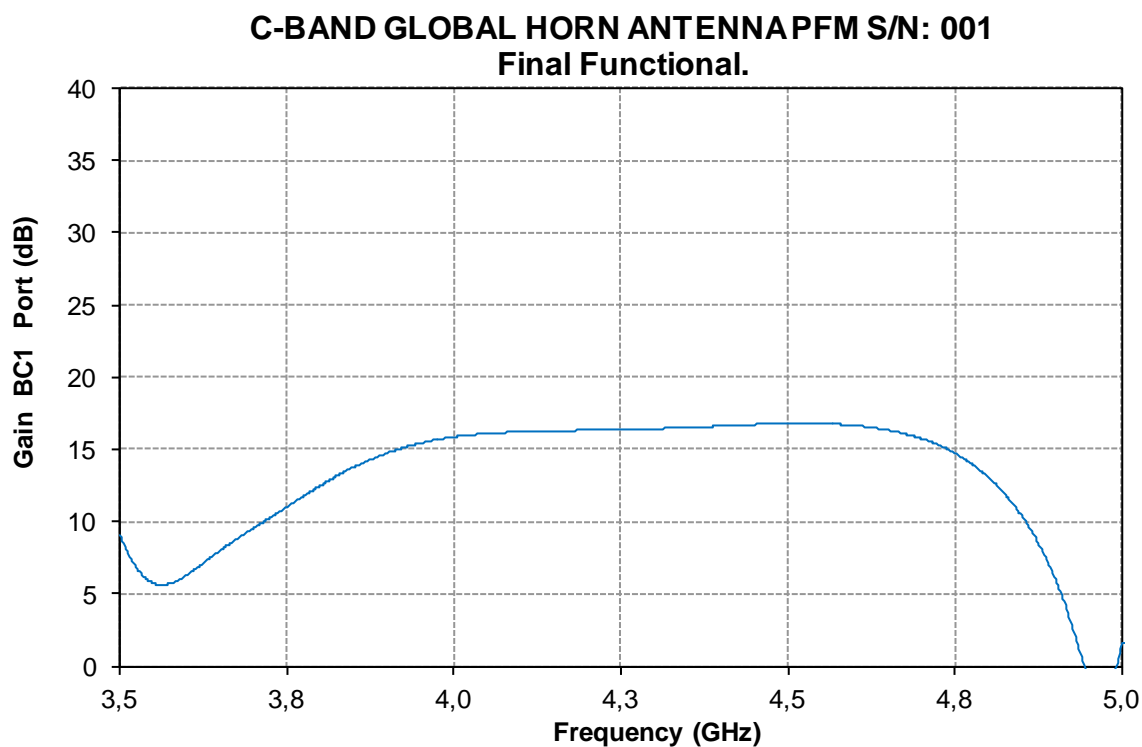


Figura 5.6.2.1.17.- Ganancia fuera de banda. Puerto BC1. Freq: 3.5-5.0 GHz.
Medidas Finales

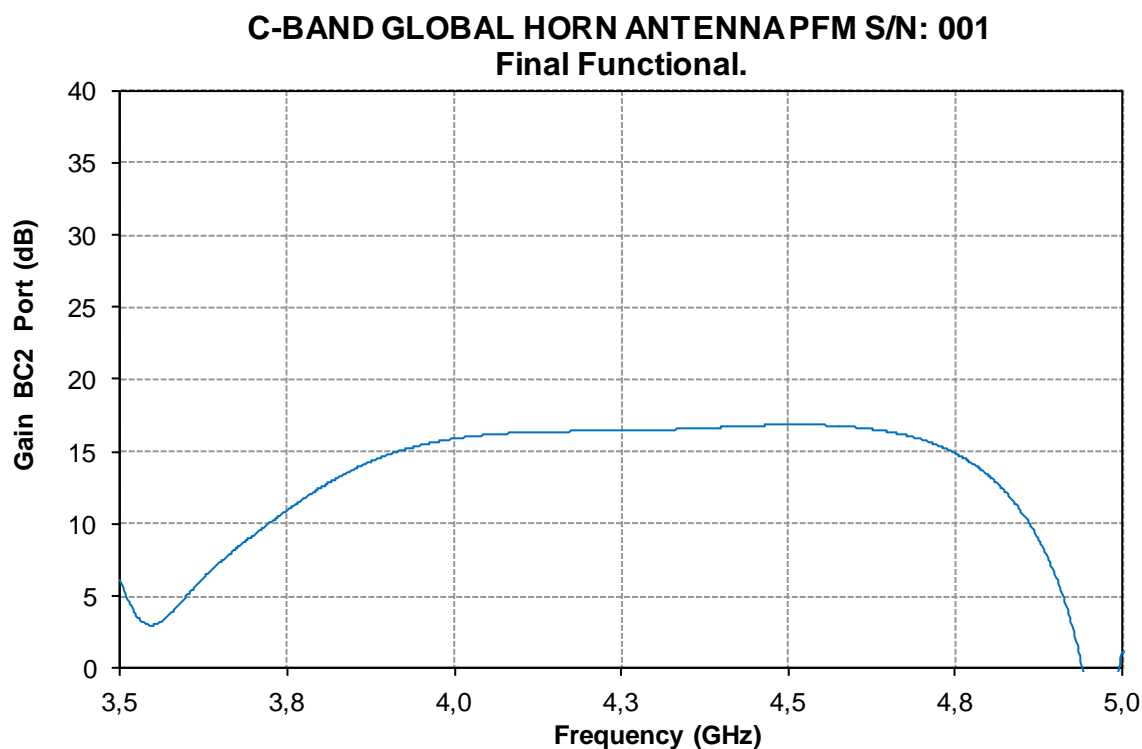


Figura 5.6.2.1.18.- Ganancia fuera de banda. Puerto BC2. Freq: 3.5-5.0 GHz.
Medidas Finales

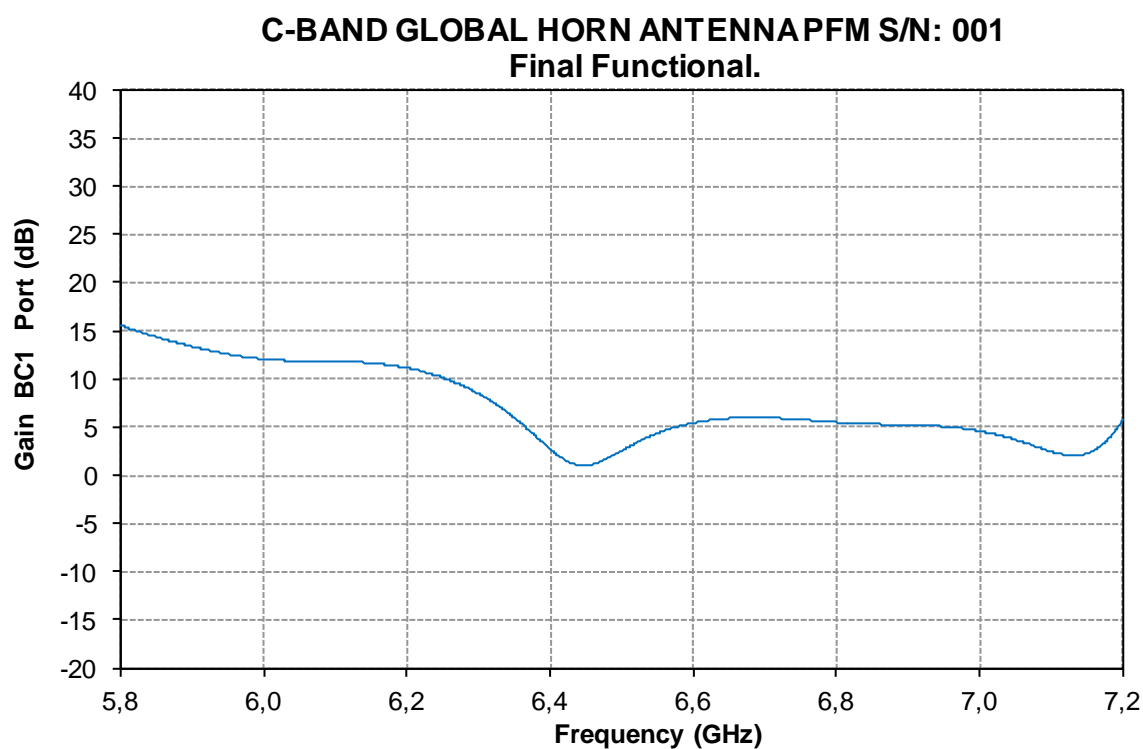


Figura 5.6.2.1.19.- Ganancia fuera de banda. Puerto BC1. Freq: 5.8-7.2 GHz.
Medidas Finales

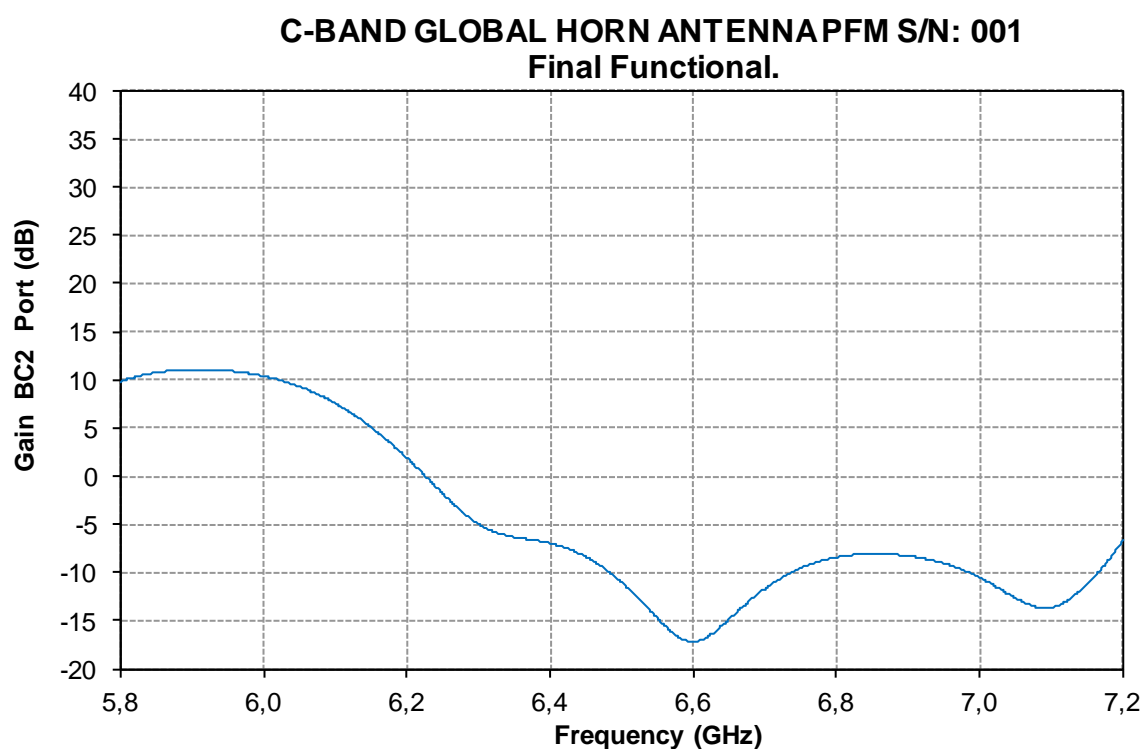


Figura 5.6.2.1.20.- Ganancia fuera de banda. Puerto BC2. Freq: 5.8-7.2 GHz.
Medidas Finales

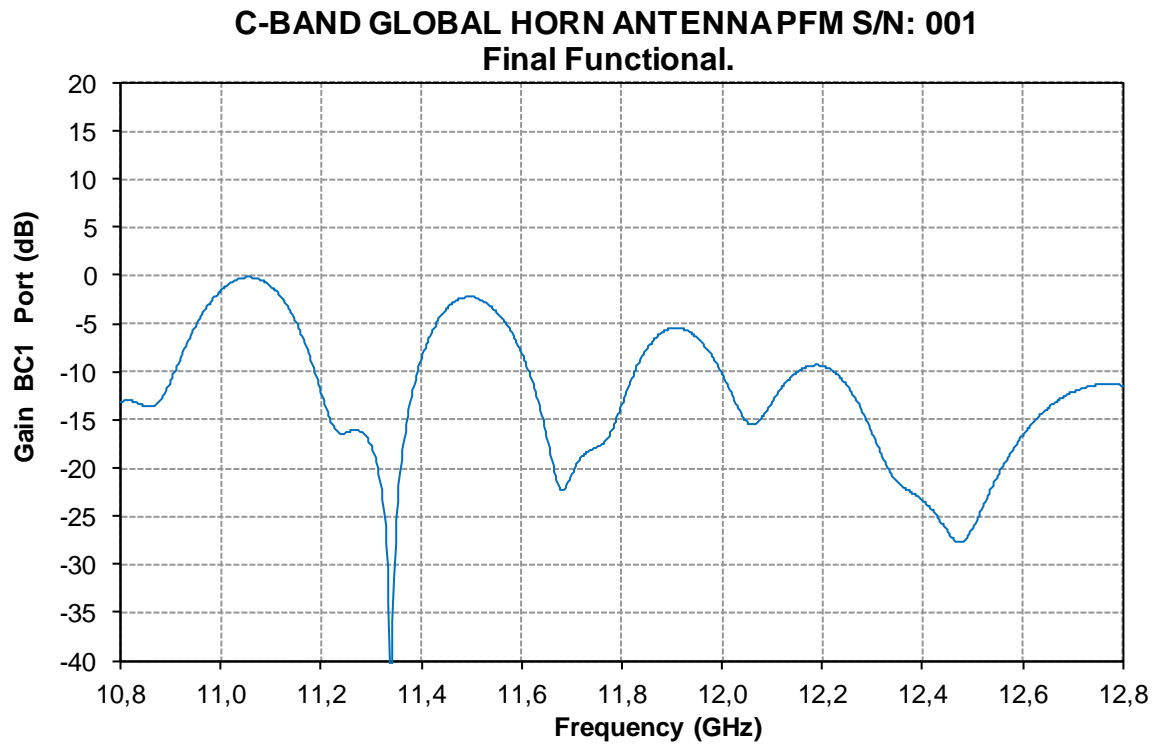


Figura 5.6.2.1.21.- Ganancia fuera de banda. Puerto BC1. Freq: 10.8-12.8 GHz.
Medidas Finales

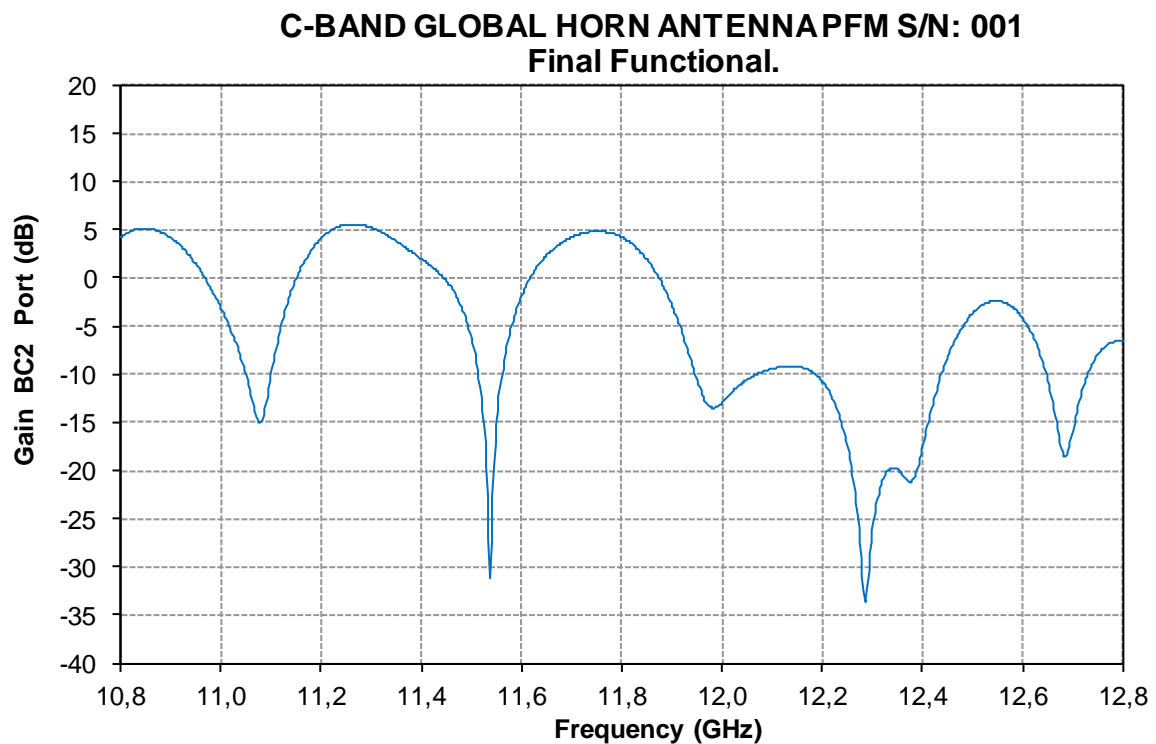


Figura 5.6.2.1.22.- Ganancia fuera de banda. Puerto BC2. Freq: 10.8-12.8 GHz.
Medidas Finales

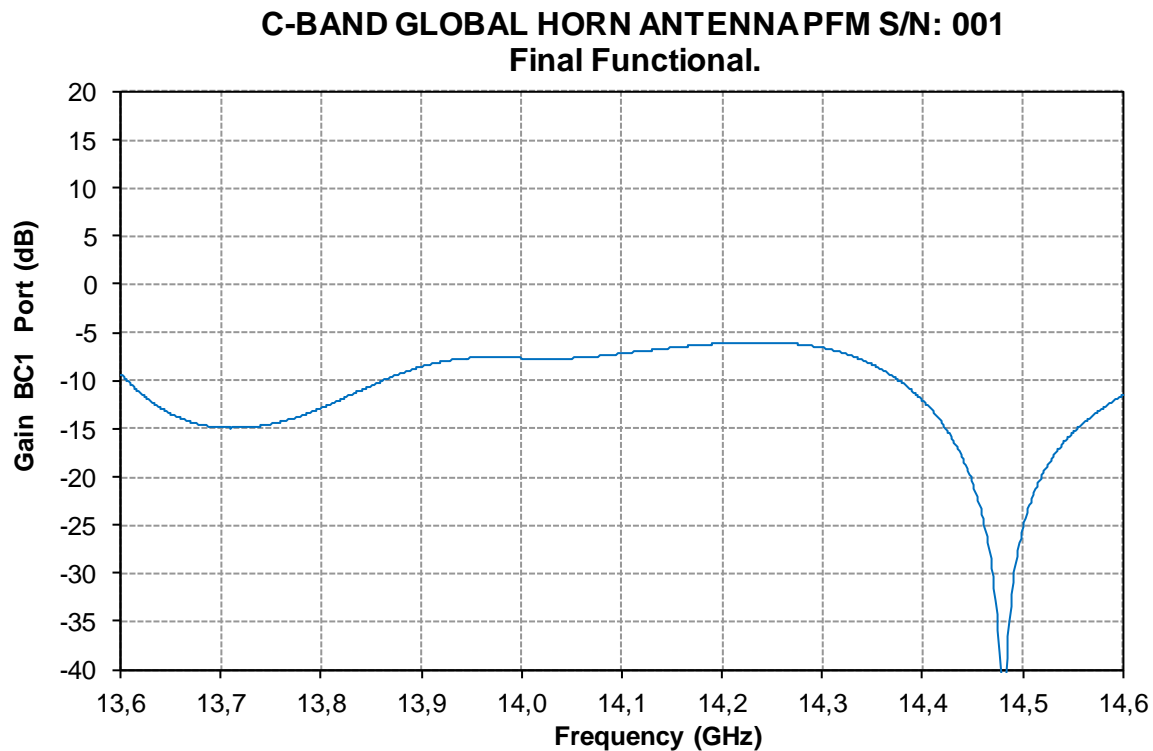


Figura 5.6.2.1.23.- Ganancia fuera de banda. Puerto BC1. Freq: 13.6-14.6 GHz.
Medidas Finales

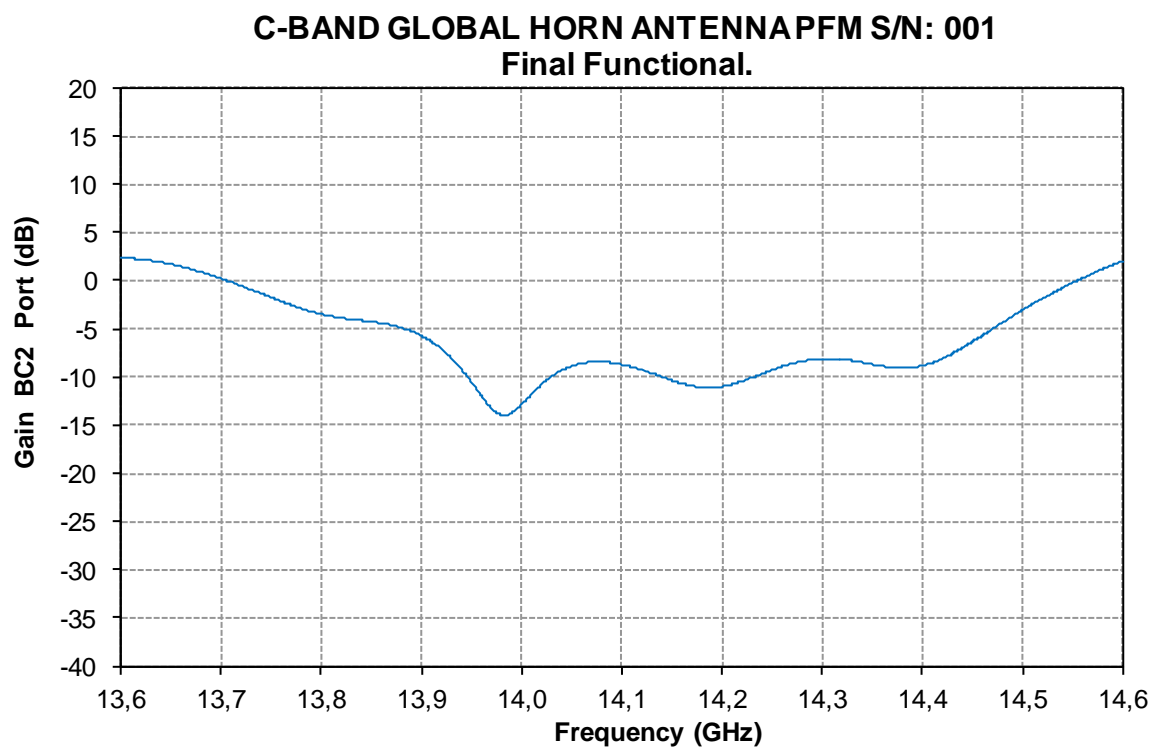


Figura 5.6.2.1.24.- Ganancia fuera de banda. Puerto BC2. Freq: 13.6-14.6 GHz.
Medidas Finales

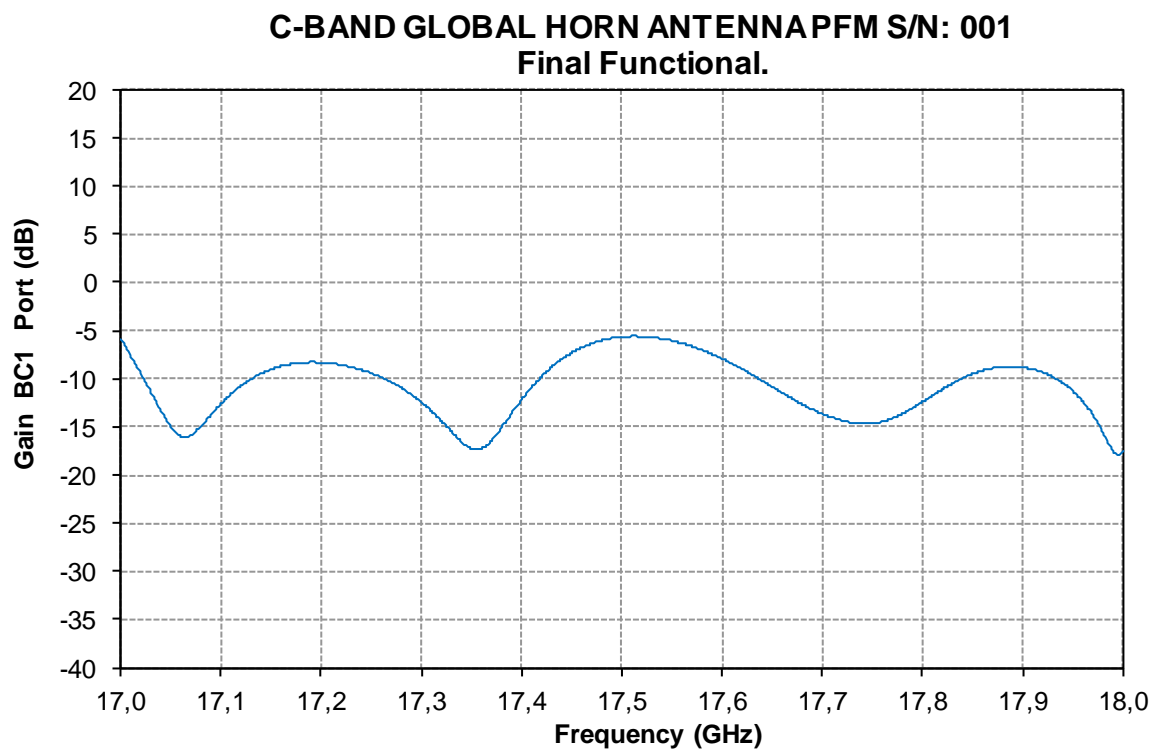


Figura 5.6.2.1.25.- Ganancia fuera de banda. Puerto BC1. Freq: 17-18 GHz.
Medidas Finales

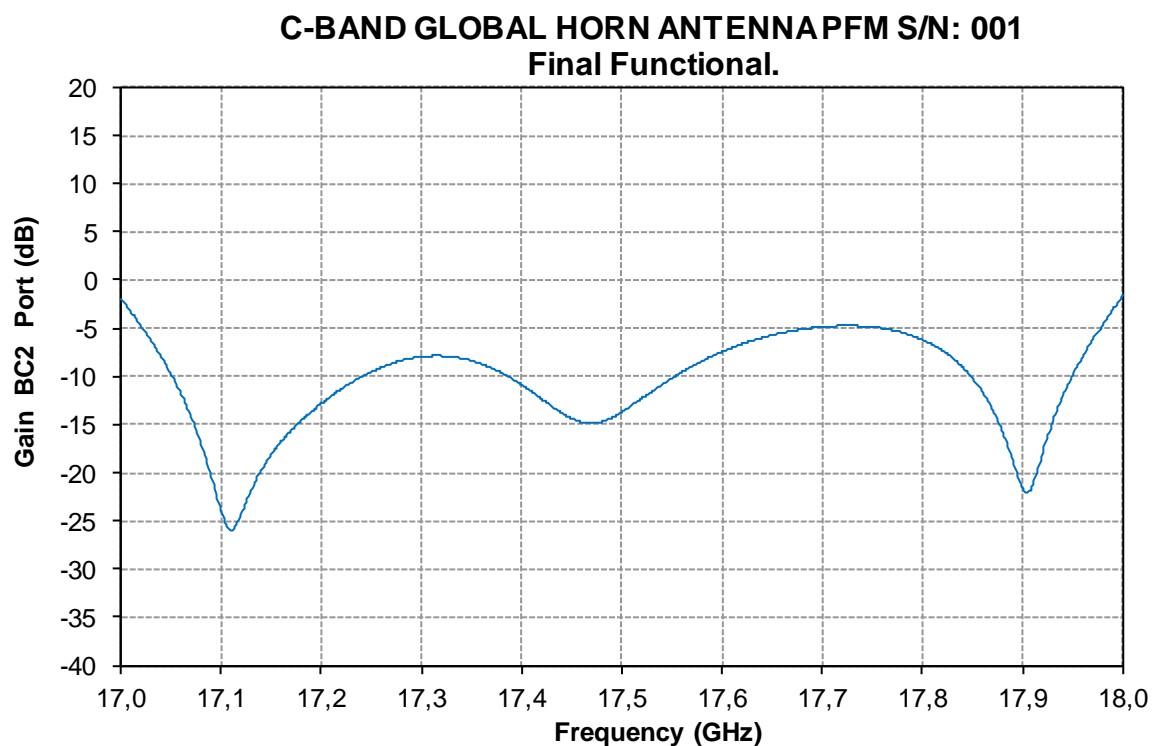


Figura 5.6.2.1.26.- Ganancia fuera de banda. Puerto BC2. Freq: 17-18 GHz.
Medidas Finales

6.2.2. Medidas Finales de Polarización

Una vez más, volvemos a comprobar el ángulo de desviación de la polarización de nuestra Antena. Los resultados deben ser coherentes con los obtenidos durante las medidas iniciales antes de todos los ensayos.

6.2.2.1 Medidas de Polarización del Eje RF

La medida se realiza de la misma manera que en las iniciales.

Puerto BC1 F1:

Primera medida, el DUT:

Nivel (dB)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)
Ángulo Inicial			Rotado 90°			
-23	50.85	53.97	52.41	140.576	143.729	142.1525
-24	51.023	53.798	52.4105	140.751	143.552	142.1515
-25	51.182	53.639	52.4105	140.908	143.395	142.1515
-26	51.318	53.495	52.4065	141.045	143.261	142.153
-27	51.442	53.37	52.406	141.172	143.138	142.155
-28	51.557	53.26	52.4085	141.279	143.025	142.152
			52.4086667			142.152583

Segunda medida, la Antena de Polarización de Referencia (PRH):

Nivel (dB)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)
Ángulo Inicial			Rotado 90°			
-25	95.301	99.207	97.254	5.386	9.253	7.3195
-26	95.527	98.982	97.2545	5.612	9.02	7.316
-27	95.73	98.785	97.2575	5.811	8.82	7.3155
-28	95.91	98.599	97.2545	5.999	8.631	7.315
-29	96.079	98.434	97.2565	6.158	8.465	7.3115
-30	96.227	98.282	97.2545	6.315	8.307	7.311
			97.25525			7.31475

Al resultado anterior, debemos sumarle 90°, para calcular la última media:

Así:

$$((142.153 + 90) + 52.409) / 2 = 142.281^\circ$$

$$((7.315 + 90) + 97.255) / 2 = 97.285^\circ$$

Entonces, la diferencia entre la medida de la PRH y nuestra antena para el Puerto BC1 a F1 es el ángulo de desviación de la polarización de nuestra antena, con un error menor o igual a 0.1°:

El ángulo de desviación de la polarización del puerto BC1 a F1: $(97.285^\circ - 142.281^\circ) - (-45^\circ) = 0.004^\circ$.

Puerto BC1 F2:

Primera medida, el DUT:

Nivel (dB)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)
Ángulo Inicial			Rotado 90º			
-21	51.757	54.827	53.292	140.584	143.994	142.289
-22	51.96	54.626	53.293	140.582	143.804	142.193
-23	52.154	54.434	53.294	140.937	143.638	142.2875
-24	52.325	54.263	53.294	141.089	143.486	142.2875
-25	52.488	54.089	53.2885	141.225	143.354	142.2895
-26	52.651	53.917	53.284	141.34	143.239	142.2895
			53.2909167	142.272667		

Segunda medida, la Antena de Polarización de Referencia (PRH):

Nivel (dB)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)
Ángulo Inicial			Rotado 90º			
-25	96.616	99.931	98.2735	5.873	8.953	7.413
-26	96.798	99.752	98.275	6.074	8.754	7.414
-27	96.96	99.589	98.2745	6.255	8.565	7.41
-28	97.113	99.436	98.2745	6.423	8.387	7.405
-29	97.245	99.303	98.274	6.588	8.227	7.4075
-30	97.364	99.186	98.275	6.747	8.063	7.405
			98.2744167	7.40908333		

Al resultado anterior, debemos sumarle 90°, para calcular la última media:

Así:

$$((142.273 + 90) + 53.291) / 2 = 142.782^\circ$$

$$((7.409 + 90) + 98.274) / 2 = 97.842^\circ$$

Entonces, la diferencia entre la medida de la PRH y nuestra antena para el Puerto BC1 a F2 es el ángulo de desviación de la polarización de nuestra antena, con un error menor o igual a 0.1°:

El ángulo de desviación de la polarización del puerto BC1 a F2: $(97.842^\circ - 142.782^\circ) - (-45^\circ) = 0.060^\circ$.

Puerto BC2 F1:

Primera medida, el DUT:

Nivel (dB)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)
Ángulo Inicial			Rotado 90º			
-25	140.8	143.266	142.033	51.177	53.581	52.379
-26	140.933	143.127	142.03	51.323	53.444	52.3835
-27	141.058	143	142.029	51.449	53.316	52.3825
-28	141.172	142.891	142.0315	51.562	53.201	52.3815
-29	141.268	142.792	142.03	51.668	53.099	52.3835
-30	141.355	142.706	142.0305	51.762	53.008	52.385
			142.030667	52.3825		

Segunda medida, la Antena de Polarización de Referencia (PRH):

Nivel (dB)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)
Ángulo Inicial			Rotado 90º			
-20	95.301	99.207	97.254	5.386	9.253	7.3195
-21	95.527	98.982	97.2545	5.612	9.02	7.316
-22	95.73	98.785	97.2575	5.811	8.82	7.3155
-23	95.91	98.599	97.2545	5.999	8.631	7.315
-24	96.079	98.434	97.2565	6.158	8.465	7.3115
-25	96.227	98.282	97.2545	6.315	8.307	7.311
			97.25525	7.31475		

Al resultado anterior, debemos sumarle 90°, para calcular la última media:

Así:

$$((52.383 - 90) + 142.031) / 2 = 52.207^\circ$$

$$((7.315 + 90) + 97.255) / 2 = 97.285^\circ$$

Entonces, la diferencia entre la medida de la PRH y nuestra antena para el Puerto BC2 a F1 es el ángulo de desviación de la polarización de nuestra antena, con un error menor o igual a 0.1°:

El ángulo de desviación de la polarización del puerto BC2 a F1: $(97.285^\circ - 52.207^\circ) - 45^\circ = 0.078^\circ$.

Puerto BC2 F2:

Primera medida, el DUT:

Nivel (dB)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)
Ángulo Inicial			Rotado 90°			
-16	139.294	145.294	142.294	50.439	56.008	53.2235
-17	139.622	144.965	142.2935	50.803	55.654	53.2285
-18	139.905	144.678	142.2915	51.132	55.326	53.229
-19	140.166	144.412	142.289	51.436	55.033	53.2345
-20	140.397	144.181	142.289	51.727	54.76	53.2435
-21	140.615	143.959	142.287	51.988	54.493	53.2405
			142.290667			53.23325

Segunda medida, la Antena de Polarización de Referencia (PRH):

Nivel (dB)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)	Ángulo Theta de la rampa negativa (deg)	Ángulo Theta de la rampa positiva (deg)	Media (deg)
Ángulo Inicial			Rotado 90°			
-25	96.616	99.931	98.2735	5.873	8.953	7.413
-26	96.798	99.752	98.275	6.074	8.754	7.414
-27	96.96	99.589	98.2745	6.255	8.565	7.41
-28	97.113	99.436	98.2745	6.423	8.387	7.405
-29	97.245	99.303	98.274	6.588	8.227	7.4075
-30	97.364	99.186	98.275	6.747	8.063	7.405
			98.2744167			7.40908333

Al resultado anterior, debemos sumarle 90°, para calcular la última media:

Así:

$$((53.233 - 90) + 142.291) / 2 = 52.762^\circ$$

$$((7.409 + 90) + 98.274) / 2 = 97.842^\circ$$

Entonces, la diferencia entre la medida de la PRH y nuestra antena para el Puerto BC2 a F2 es el ángulo de desviación de la polarización de nuestra antena, con un error menor o igual a 0.1°:

El ángulo de desviación de la polarización del puerto BC2 a F2: $(97.842^\circ - 52.762^\circ) - 45^\circ = 0.080^\circ$.

6.2.3. Análisis de Resultados

Podemos observar en las gráficas que las medidas finales concuerdan con las obtenidas durante las iniciales. Tal como y comentamos entonces, todos los resultados obtenidos cumplen con las especificaciones del cliente.

Los diagramas de radiación, XPD y Gain Slope son prácticamente idénticos a los resultados de iniciales, con lo que podemos confirmar que nuestra Antena se ha mantenido estable en su comportamiento tras la Campaña de Ensayos, que es uno de los puntos más críticos de cara a dar por satisfactoria la Campaña de Verificación y Caracterización de nuestra Antena.

Los ángulos de desviación de la polarización están en el consonancia con las iniciales, no ha habido cambios de signo en la desviación y solo pequeños cambios de valor achacables a la incertidumbre de la medida, que nos lleva a afirmar que nuestra Antena también ha superado exitosamente este punto.

En cuanto a las medidas realizadas por primera vez en esta fase, Ganancia de la Antena con el Test Cap y Ganancia fuera de Banda, podemos destacar varias cosas.

En el caso de las medidas de Ganancia de la Antena con el Test Cap, se observa en las gráficas que la señal radiada por la Antena con el Test Cap puesto, está muy por debajo del nivel requerido. Lo cual nos garantiza que durante los ensayos que lleve a cabo el cliente, la señal inyectada en ésta, no será radiada hacia el exterior y por tanto la energía transmitida al Test Cap será máxima.

En cuanto a los resultados de la Ganancia fuera de Banda, podemos comprobar que no hay especificación marcada por el cliente. Sin embargo, necesita conocer estos valores en determinadas bandas, que suelen ser aquellas en las que funcionan el resto de equipos embarcados en el satélite, con el fin de saber las posibles interferencias que generará/sufrirá el sistema donde se encuentre nuestra Antena dentro de la plataforma.

Después de haber estudiado las medidas finales de radiación, podemos concluir que todos los resultados son correctos y están dentro de lo normal. Por ello, podemos afirmar que la terminado el Test de Radiación con éxito.

7. MEDIDAS DE ESD (RESISTENCIA DC)

7.1. Introducción

La medida de ESD o resistencia DC se realiza midiendo la resistencia eléctrica que existe entre los diferentes componentes de la antena. El objetivo de esta medida es la de comprobar que existe un buen contacto entre las partes de la Antena, de no ser así, es posible que el equipo no funcione correctamente.

Para asegurarse que los contactos entre todos los componentes de la Antena son correctos, realizamos las medidas entre los puntos marcados por el procedimiento que vimos en el capítulo anterior.

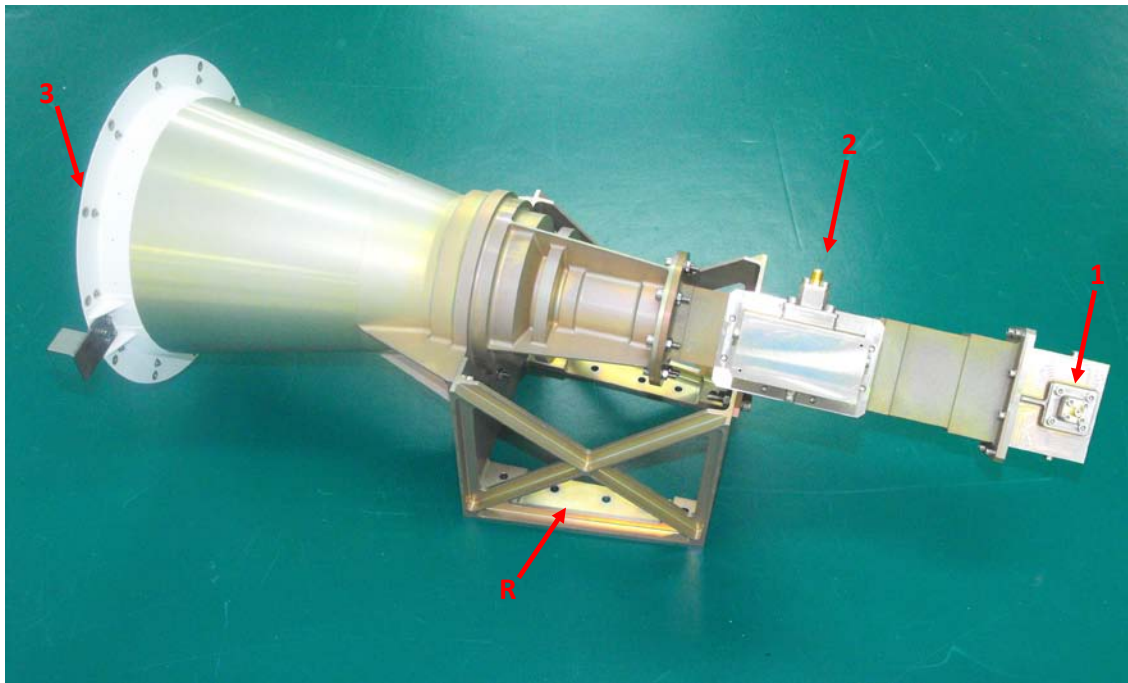


Figura 5.7.1.1.- Puntos de medida del ESD

7.2. Presentación de Resultados

<i>Puntos de Medida</i>	<i>Especificación</i>	<i>Valor obtenido</i>
<i>R-1</i>	<i>5 mΩ</i>	<i>2.38 mΩ</i>
<i>R-2</i>		<i>1.60 mΩ</i>
<i>R-3</i>		<i>0.06 mΩ</i>

Tabla 5.7.2.1.- Resultados del Test de ESD

7.3. Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos durante la medida de ESD nos confirman el montaje correcto de las diferentes piezas de la Antena. Los valores de ESD han salido por debajo de $5\text{m}\Omega$, con lo que hay una buena conductividad entre las distintas partes y por tanto, que la señal se podrá propagar perfectamente por nuestro equipo. De haber salido alto, significaría que hay algo que impide el buen contacto de las partes, como podría ser una aplicación defectuosa del tratamiento superficial de la Antena, que impide que ésta se oxide; o que el sellador que se utiliza para fijar los tornillos ha rebosado en alguna junta impidiendo el contacto.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

1. CONCLUSIONES

Como hemos podido observar durante el desarrollo del programa, este proyecto tiene un enfoque completamente comercial. Por lo tanto, no sólo nos interesa que la Antena cumpla con las especificaciones del cliente que lo ha contratado, si no, que además, prima la necesidad de realizarlo con el menor coste posible.

Desde el punto de vista técnico, hemos podido comprobar, no sólo que nuestra Antena cumple con todos los requisitos especificados, sino que también, es completamente estable a lo largo de la campaña.

Las medidas de Laboratorio han demostrado que las Pérdidas de Retorno y el Aislamiento entre Puertos, además, de todos los parámetros del Test Cap, cumplen perfectamente con los valores del cliente y que además, no hay cambios significativos o inusuales del comportamiento de la Antena durante la Campaña de Ensayos.

Esto, junto con las medidas de Radiación confirman que nuestra Antena responde bien a lo que se espera de ella:

- Un haz estrecho
- Un gran aislamiento entre los puertos de entrada
- Una buena XPD (Cross-Polar Discrimination)

Gracias a las medidas de RF durante el Ensayo de Cámara Térmica de Vacío hemos podido observar que el desplazamiento en frecuencia de las medidas coincide con lo que debíamos esperar por diseño. Así mismo, el comportamiento general de la Antena durante el Test ha sido normal y dentro de lo que cabía esperar en condiciones extremas.

Finalmente, los Ensayos Ambientales han confirmado que nuestra Antena está preparada para superar todos los desafíos que se le presenten. El Test de Vibración nos ayuda a simular y comprender las condiciones tan rigurosas a las que se verá sometida durante las fases de lanzamiento y colocación en órbita; y el Ensayo Térmico de Vacío demuestra que la estructura soportará sin problemas los cambios de temperatura y falta de presión que le afectarán durante su vida útil en el satélite.

Desde el punto de vista económico, debemos señalar que todos los procesos necesarios para llegar hasta aquí, oferta, diseño, fabricación y verificación se han realizado dentro del presupuesto marcado y que por tanto, el programa ha supuesto un beneficio económico para RYMSA.

Por todo ello, debemos concluir que nuestra Antena ha pasado satisfactoriamente por todas las fases y que está preparada para ser enviada y que comience su vida útil en el satélite.

Con este proyecto, además de la experiencia personal y laboral adquirida, me ha afianzado la importancia que tiene seguir meticulosamente las diferentes fases que cada programa requiere, desde el diseño, hasta que la Antena se manda al cliente.

Gracias a ello, he ampliado mis conocimientos de otros departamentos y especialidades, diseño de bocinas, análisis de estructuras, etc.; que me han ayudado a completar mi formación e integrarme en el mundo laboral, y más concretamente, en el sector espacial.

Este área dispone de una gran perspectiva de crecimiento y sin duda, un prometedor futuro de avances tecnológicos e investigación, de alcance, tal vez, inimaginable.

1.1. Tabla de Cumplimientos

A modo de pequeño resumen de las características, a continuación mostramos una tabla con los valores más importantes de nuestra Antena. Esta tabla es un instrumento muy útil para el cliente, pues con ella puede comprobar de forma clara y concisa los peores valores eléctricos obtenidos durante el transcurso de la campaña.

PARÁMETROS	VALOR ESPECIFICADO		PEOR VALOR				STATUS DE CUMPL.	OBSERVACIONES
			INICIALES	POST VIBRACIÓN	TVC	FINALES		
Rango de Frecuencias	F1: 3947 MHz F2: 4500 MHz		F1: 3947 MHz F2: 4500 MHz	F1: 3947 MHz F2: 4500 MHz	F1: 3947 MHz F2: 4500 MHz	F1: 3947 MHz F2: 4500 MHz	C	Banda de Frecuencias extendidas [-0.02; +0.02] GHz para cumplir en condiciones extremas.
Ganancia	$\theta=0^\circ$	$\leq 17.0 \text{ dBi}$	16.7 dB	-----	-----	16.7 dB	C	
	$\theta \leq \pm 8.8^\circ$	$\geq 14.0 \text{ dBi}$	14.3 dB	-----	-----	14.4 dB	C	
CrossPolar Discrimination (XPD)	$\theta \leq \pm 8.8^\circ$	$> 36.9 \text{ dB}$	36.9 dB	-----	-----	37.1 dB	C	
Gain Slope	$< 1.0 \text{ dB}/^\circ$		0.4 dB/ $^\circ$	-----	-----	0.4 dB/ $^\circ$	C	
Ganancia con el Test Cap	-20 dB		-----	-----	-----	-42.3 dB	C	
Pérdidas de Retorno	-20.83 dB		Puerto BC1: -21.7 dB Puerto BC2: -22.2 dB	Puerto BC1: -22.2 dB Puerto BC2: -22.0 dB	Puerto BC1: -22.4 dB Puerto BC2: -24.6 dB	Puerto BC1: -20.9 dB Puerto BC2: -21.3 dB	C	

<i>Aislamiento entre Puertos</i>	-35 dB	-55.5 dB			-58.8 dB	-65.2 dB			-59.8 dB			C	
<i>Pérdidas de Retorno de la Antena con Test Cap</i>	-13.98 dB	Puerto BC1: -14.88 dB Puerto BC2: -14.01 dB			-----	Puerto BC1: -14.5 dB Puerto BC2: -15.1 dB			Puerto BC1: -15.20 dB Puerto BC2: -14.12 dB			C	
<i>Pérdidas de Retorno del Test Cap</i>	-13.98 dB	-14.01 dB			-----	-14.3 dB			-14.12 dB			C	
<i>Acoplo entre Antena y Test Cap</i>	-20±3dB	<i>Puerto</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	-----	<i>Puerto</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	<i>Puerto</i>	<i>Max</i>	<i>Min</i>	C	
		BC1	-19.1 dB	-20.2 dB		BC1	-18.9 dB	-19.7 dB	BC1	-19.3 dB	-20.3 dB		
		BC2	-19.6 dB	-20.5 dB		BC2	-19.4 dB	-20.2 dB	BC2	-19.7 dB	-20.6 dB		

Tabla 6.1.1.1.- Tabla de Cumplimientos

2. TRABAJOS FUTUROS

Como futuras líneas de trabajo y mejora de los sistemas de medida se realizarán en un futuro las siguientes acciones:

2.1. Reordenación de la medida de ESD

Debido al objetivo que persigue esta medida, carece de un poco de sentido que se realice durante la fase final de la campaña. En este punto de la fase de Ensayos, se hace realmente complicado realizar acciones paliativa en caso de que la medida no fuera correcta.

Es cierto, que de haber un problema en el montaje de la antena podrían verse afectados los demás parámetros eléctricos y que fuéramos capaces de darnos cuenta del problema, pero no siempre se da este supuesto, normalmente cuando existe un problema de este estilo, aunque las medidas eléctricas pueden reflejar este contratiempo, no es de manera muy concluyente y no somos capaces de asociarlo a dicho problema.

Si la medida de ESD se realiza al principio de la campaña, tras el montaje de los equipos, podríamos comprobar si éste se ha realizado correctamente y en caso necesario, todavía estaríamos a tiempo de corregir el error y volver a empezar.

Si bien es cierto que, deberíamos tener presente que al realizar la medida durante la fase final podemos comprobar que el equipo no ha sufrido un desajuste a lo largo de la campaña y que el montaje sigue correcto.

Es por ello que, para futuros programas, las medidas de ESD deben realizarse al principio y al final de cada Campaña de Ensayos.

2.2. Mejora de las Medidas en Cámaras Térmicas

Como hemos visto durante el desarrollo del programa, las medidas de RF en condiciones extremas son muy críticas e importantes. Debido a las dificultades inherentes de la realización de dicha medida, no siempre podemos obtener unas medidas parecidas a las del Laboratorio.

Aunque la teoría de sistema de inventariado dice que la medida debería ser perfecta, la realidad dista mucho de serla. Realizar correctamente el inventariado de un equipo conlleva mucho tiempo y experiencia, lo que tampoco asegura conseguir un resultado perfecto.

Es por ello que se está llevando a cabo un estudio con el fin de mejorar dichas medidas y poder usarlas en posteriores programas.

Uno de los puntos más críticos del estudio radica en la correcta actualización y periódica renovación de los elementos de medida, cables de RF, adaptadores, transiciones, etc. Debido al carácter del Ensayo, simulación de condiciones extremas, es determinante tener perfectamente caracterizados los elementos de medida con el fin de poder observar la degradación progresiva a la que se ven sometido.

Debemos tener en cuenta que, mientras los equipos de vuelo son sometidos a los ciclos de temperatura y vacío una vez durante la campaña, los útiles y elementos de medida, cables y adaptadores, sufren este proceso varias decenas de veces durante su vida. Este proceso conlleva un gran desgaste para estos equipos que finalmente deben ser desechados.

Para paliar este problema se han establecido baremos y normas que regulan el uso de estos elementos, así como acortar los tiempos de comprobación y estudio con el fin de descartar los inservibles o limitar los ensayos que pueden realizar.

Además de estas medidas, se ha realizado un gran desembolso para la renovación de los elementos por otros nuevos y se ha incluido en el presupuesto del Departamento de Ensayos una partida anual para la actualización periódica de éstos.

Siguiendo con el estudio de las medidas en las Cámaras Térmicas, se ha procedido con la realización de un nuevo proceso de análisis de las medidas, consistente en un post procesado de los resultados obtenidos con el fin de que se parezcan más a las medidas de Laboratorio.

Gracias a este post-procesado, podemos aplicar las variaciones sufridas por la temperatura a las medidas de Laboratorio, las cuales son bastante más precisas, y de este

modo poder observar de manera más exacta el comportamiento de nuestros equipos en condiciones extremas de temperatura y presión.

Actualmente, se están llevando a cabo pruebas de este post-procesado en diferentes programas con resultados bastante prometedores.

2.3. Mejoras de los Campos de Antenas

Además de estos estudios, se están llevando a cabo estos programas de Investigación y Desarrollo con el objetivo de mejorar las medidas de radiación obtenidas en el Compact Range y la Cámara Anecoica.

Recientemente se ha señalada la necesidad de definir perfectamente el centro de fase de las antenas, con el fin de realizar correctamente las medidas de radiación. Este es un factor muy importante a la hora de realizar la medida ya que, una mala situación de la antena en el posicionador puede afectar a la medida.

Si tomamos que el centro de fase como nuestro punto de referencia desde el que “suponemos” que emana la radiación. El centro de fase será nuestro origen de coordenadas para el que:

$Y(\theta, \varnothing)$ es independiente de θ y \varnothing \rightarrow *centro de un frente de onda esférica
centro de superficies de fase constante*

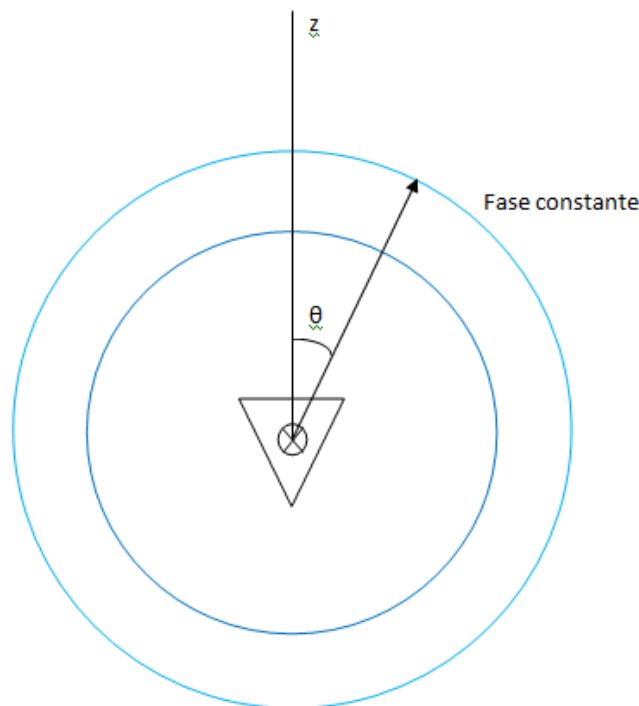


Figura 6.2.3.1.- Campo radiado desde el centro de fases de la Antena

Si cuando colocamos la antena en el posicionador del Compact Range o de la Cámara Anecoica, ésta no queda perfectamente situada, es decir, el centro de fase de la antena alineada con el eje de rotación theta del posicionador, pueden producirse deformaciones en los diagramas de radiación.

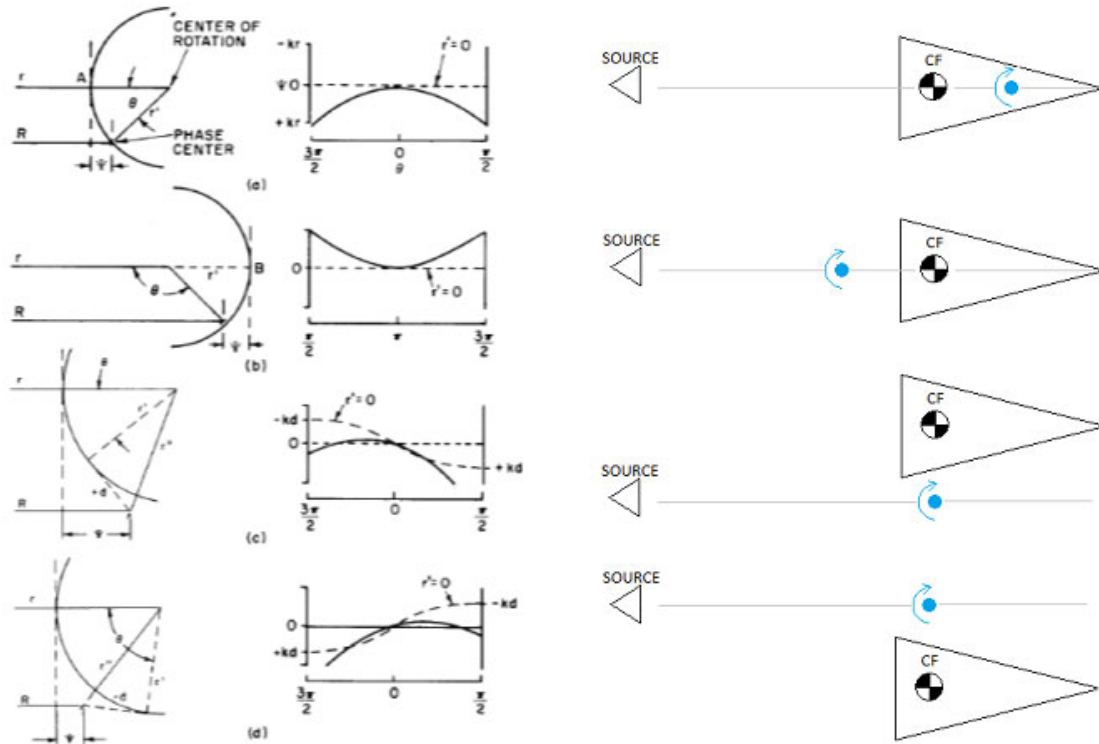


Figura 6.2.3.2.- Cambios en la geometría y en la fase desplazando la Antena respecto del centro de fase (CF) [13]

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bruce R. Elbert, Introduction to Satellite Communication, Artech House, 2008.
- [2] Isaac Medina Sánchez. Tesis del Efecto corona en guías de onda rectangulares y filtros tipo Ku. Febrero 2010.
- [3] http://es.wikipedia.org/wiki/Satélite_artificial
- [4] <http://ricomviasatelite.files.wordpress.com/2013/06>
- [5] <http://todosatelites.fullblog.com.ar/cuerpo-de-un-satelite.html>
- [6] Ángel Cardama; Luis Jofre y otros. Antenas. Ediciones UPC. Septiembre 2002
- [7] Constantine A. Balanis, Antenna Theory, Analysis and Design. John Wiley & Sons Inc. 1997.
- [8] Richard C. Johnson, Antenna Engineering Handbook. McGraw-Hill. 1993
- [9] Thomas A. Milligan, Modern Antenna Design. John Wiley & Sons Inc. 2005
- [10] J. Uher, J. Bornemann, Uwe Rosenberg. Waveguide Components for Antenna Feed Systems: Theory and CAD. Artech House, 1993
- [11] Carolina Tienda Herrero y otros. Estudio del efecto Multipactor en guía coaxial. Universidad de Santiago de Compostela. 2005
- [12] Carlos Pascual Vicente. Thesis on Passive Intermodulation and Corona Discharge for Microwave Structures in Communication Satellites. June 2005.
- [13] IEEE Std 149TM1979(R2008) (Revision of IEEE Std 149TM1965) IEEE Standard Test Procedures for Antennas.

ANEXO A. GRÁFICAS DE VIBRACIÓN

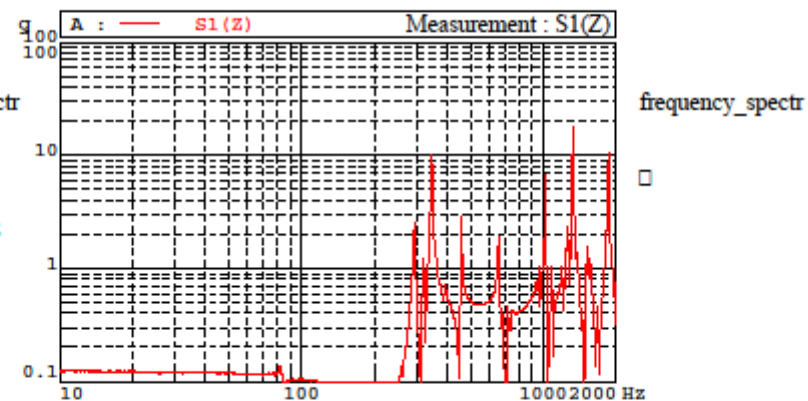
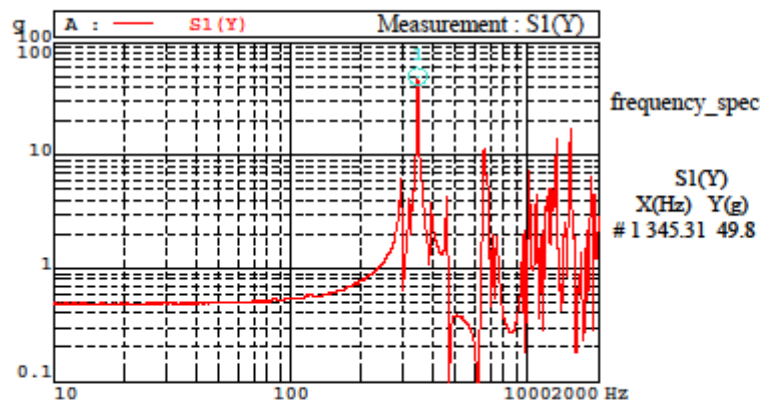
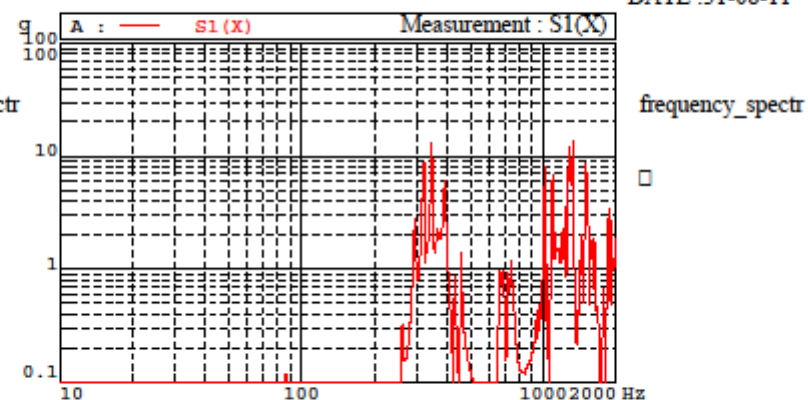
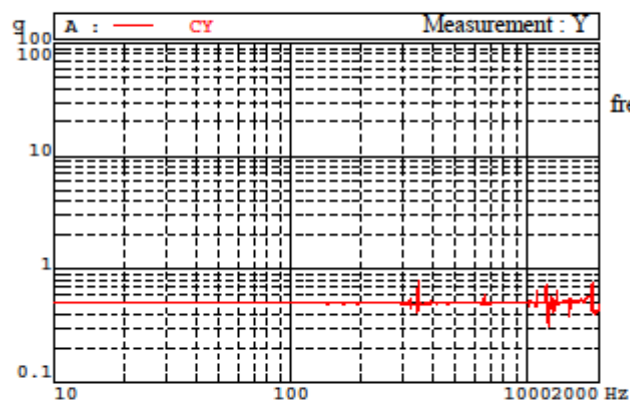


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID:RUN_I
REFERENCE TEST Y
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



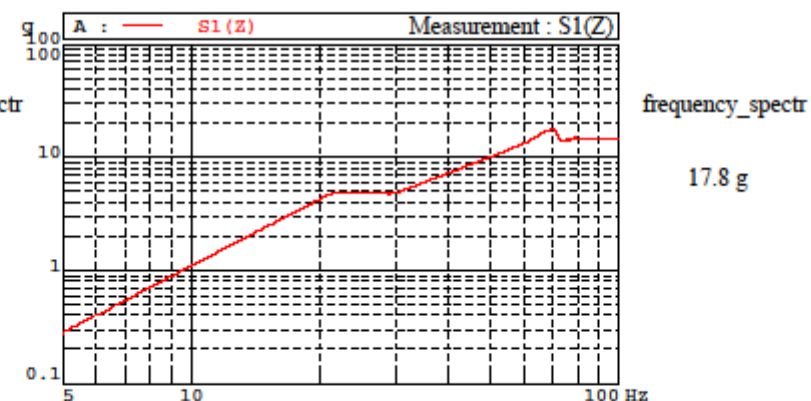
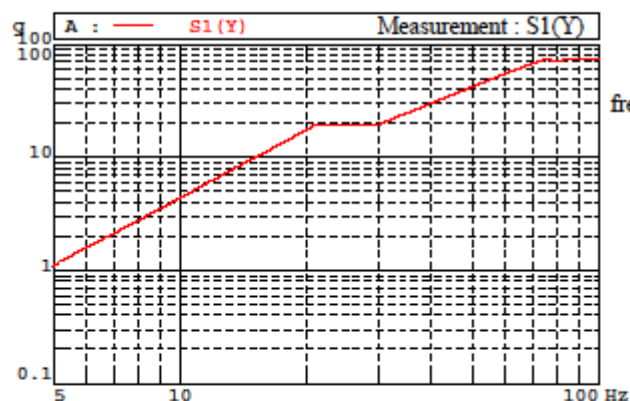
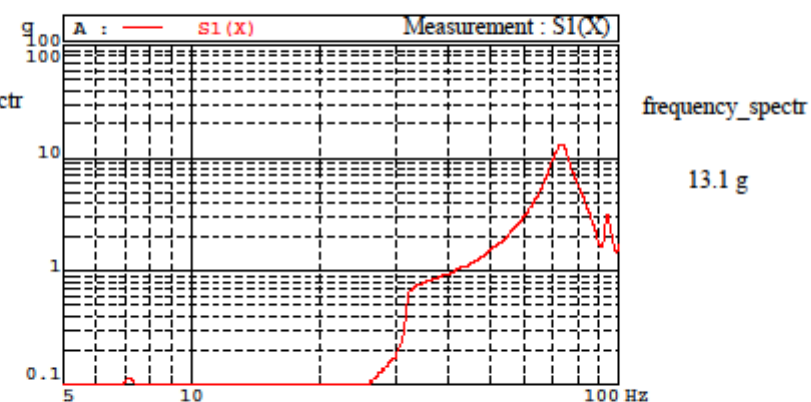
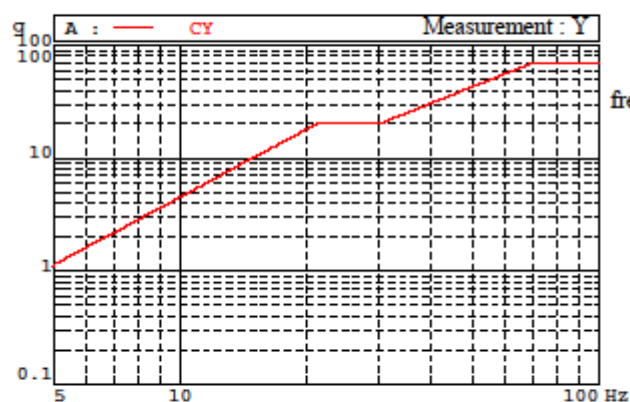


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

TEST ID.: RUN_II
QUASI-STATIC & SINE TEST Y

PFM S/N:001

DATE :31-08-11



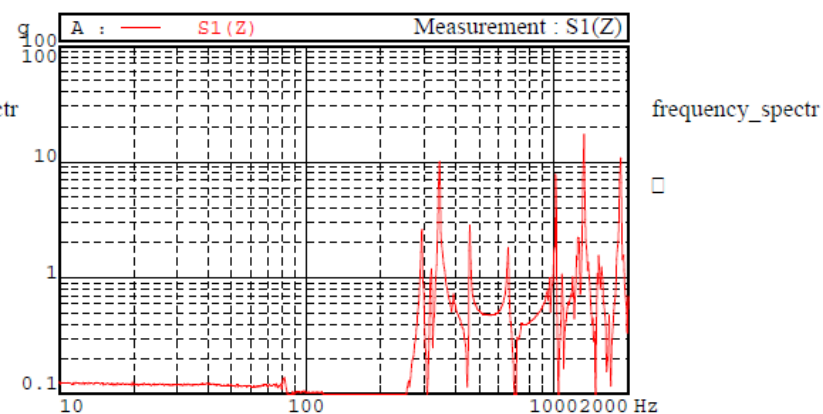
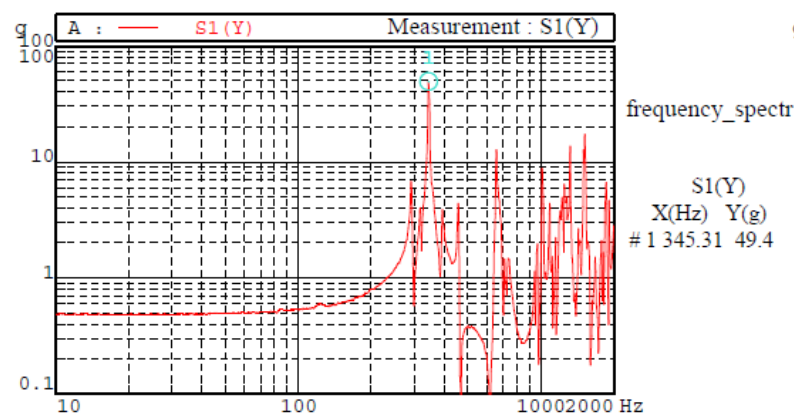
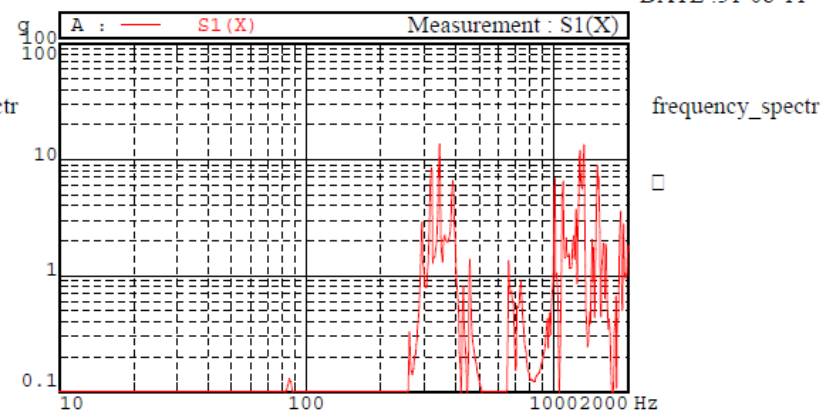
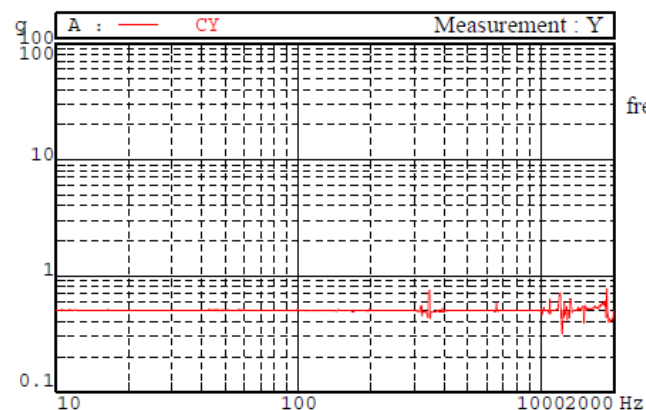


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID.:RUN_III
CONTROL 1 TEST Y
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



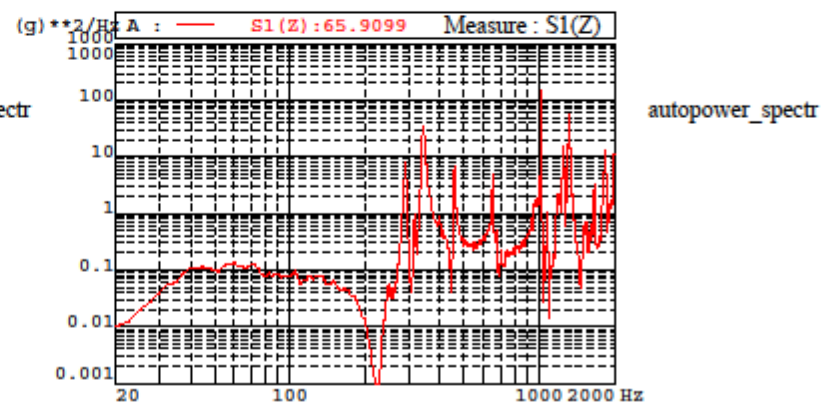
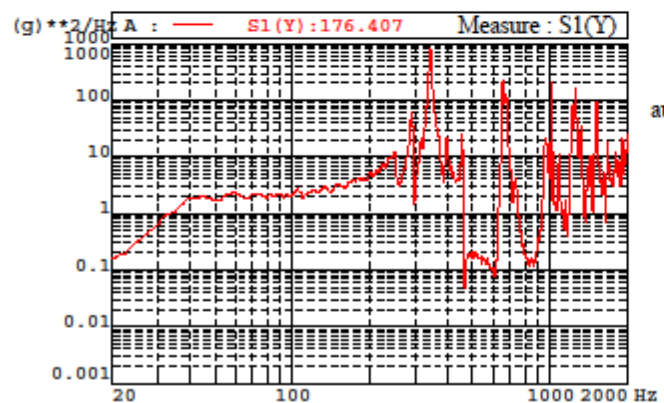
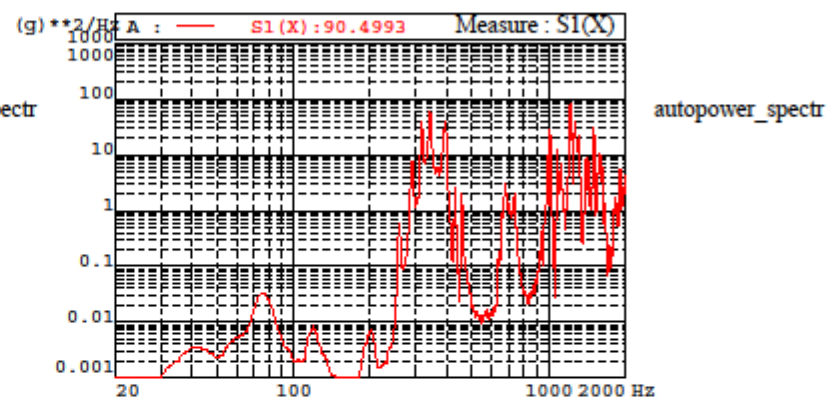
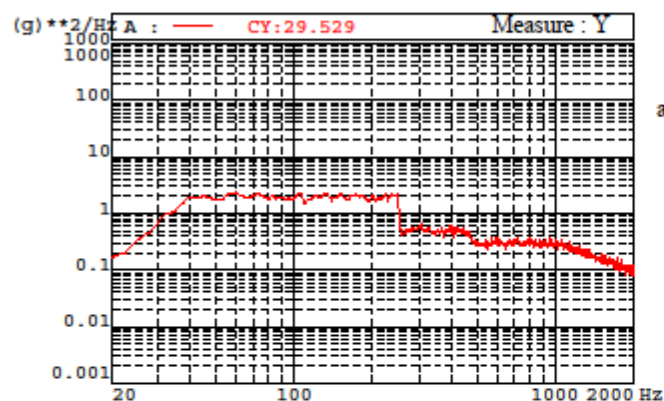


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID.:RUN_IV
RANDOM TEST Y

DATE: 31-08-11



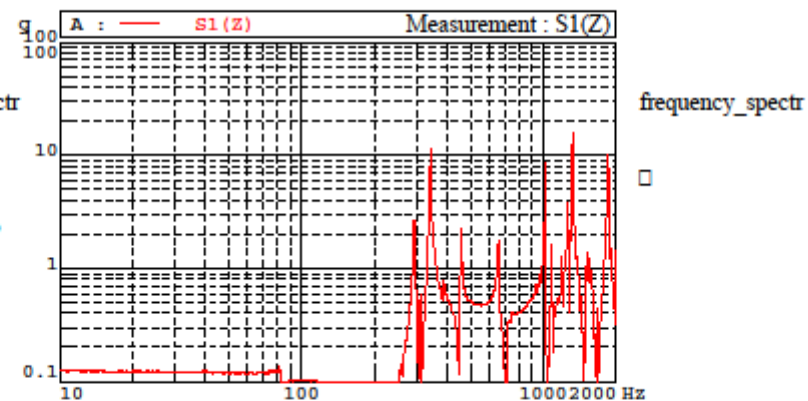
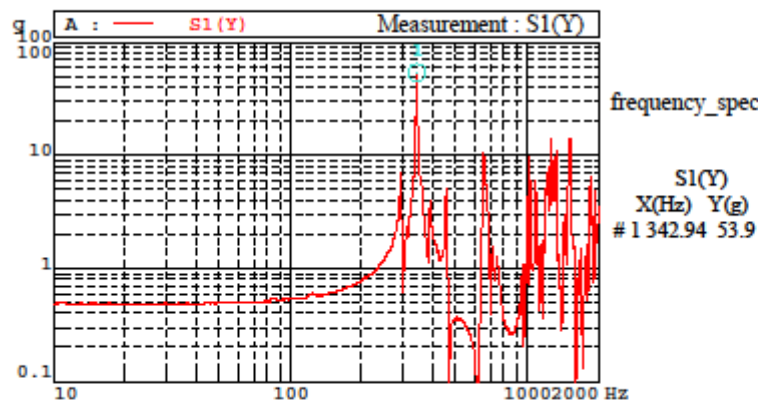
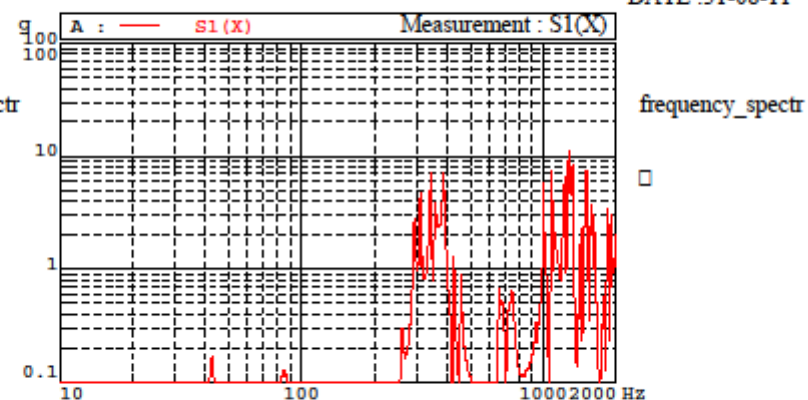
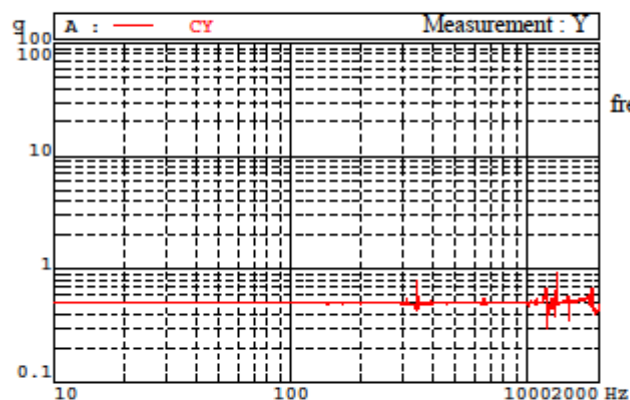


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID:RUN_V
CONTROL 2 TEST Y
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



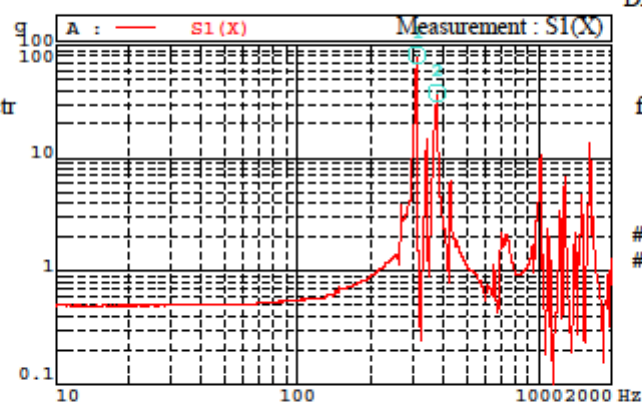
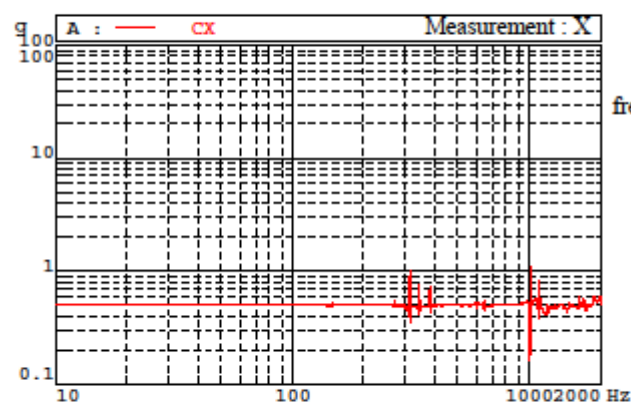


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

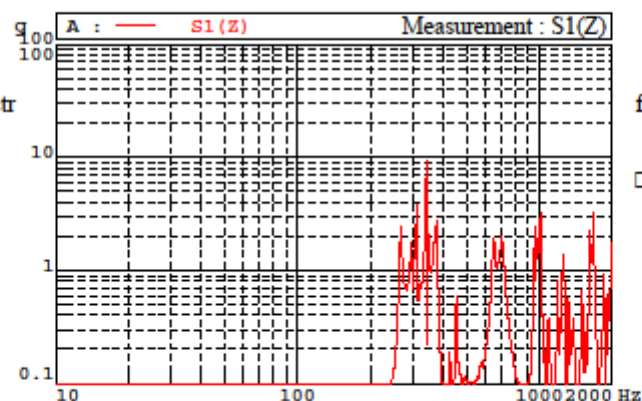
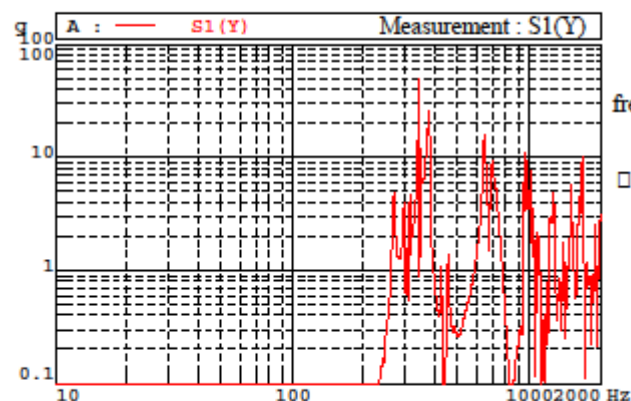
PFM S/N:001

TEST ID: RUN_VI
REFERENCE TEST X
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



S1(X)
X(Hz) Y(g)
1 311.53 81.4
2 378.31 37.6



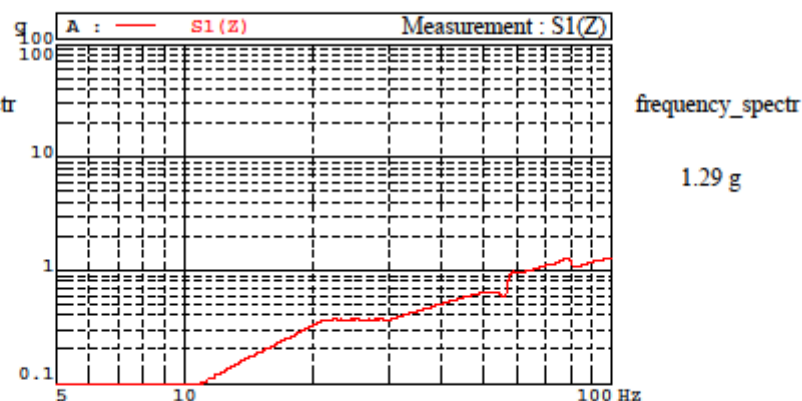
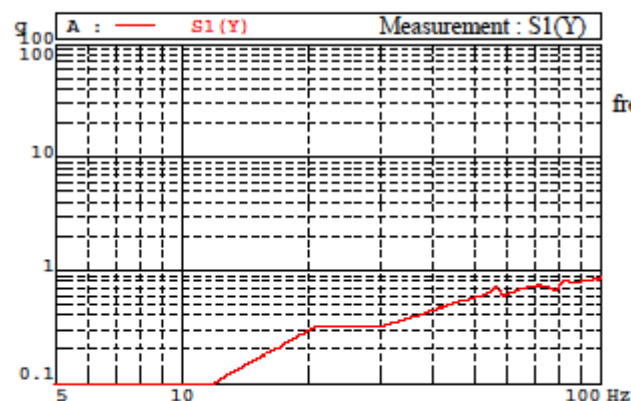
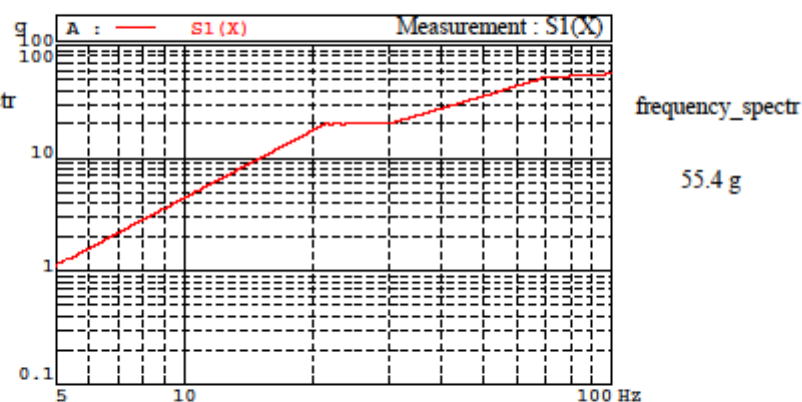
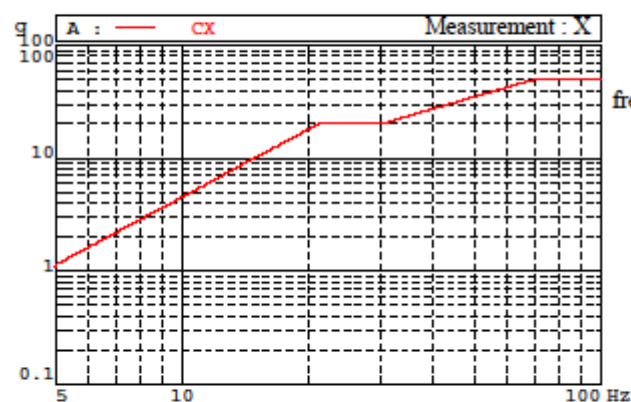


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

TEST ID.: RUN_VII
QUASI-STATIC & SINE TEST X

PFM S/N:001

DATE :31-08-11



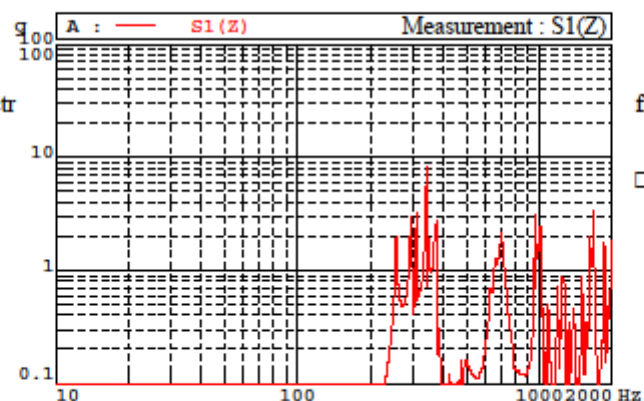
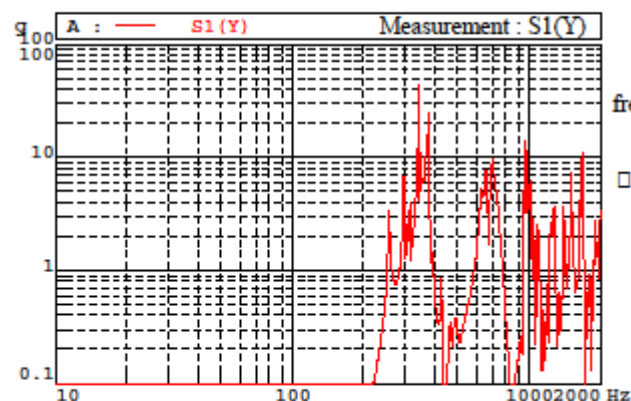
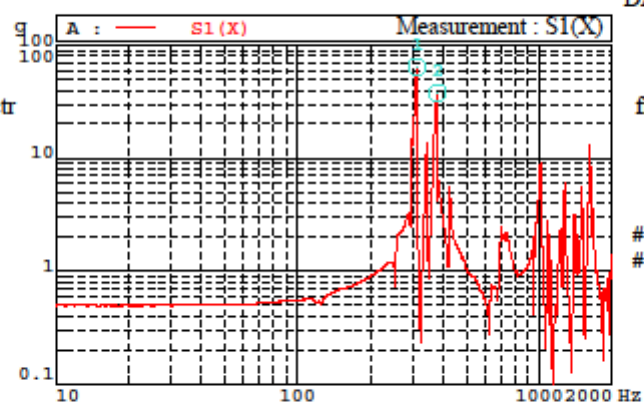
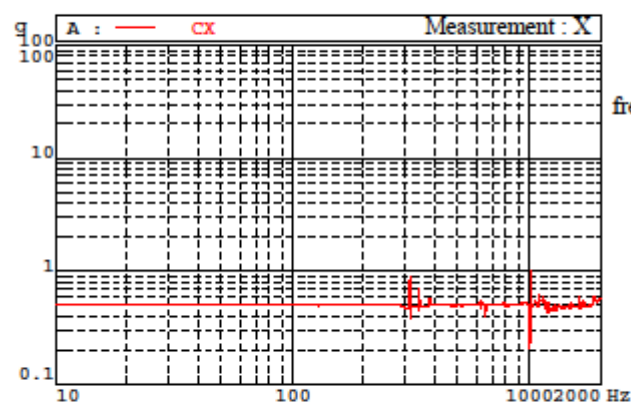


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID.:RUN_VIII
 CONTROL 1 TEST X
 SINE 0.5 g

DATE :31-08-11

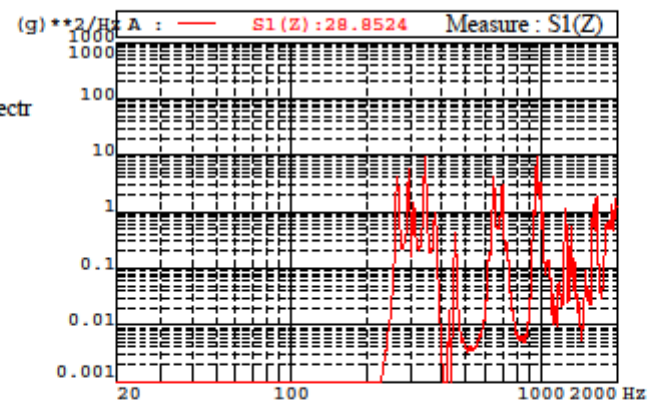
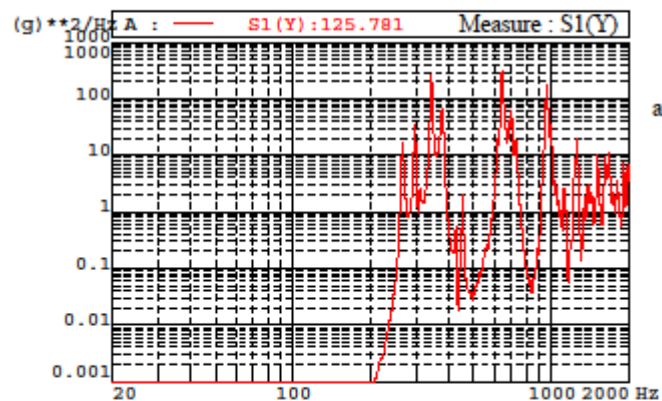
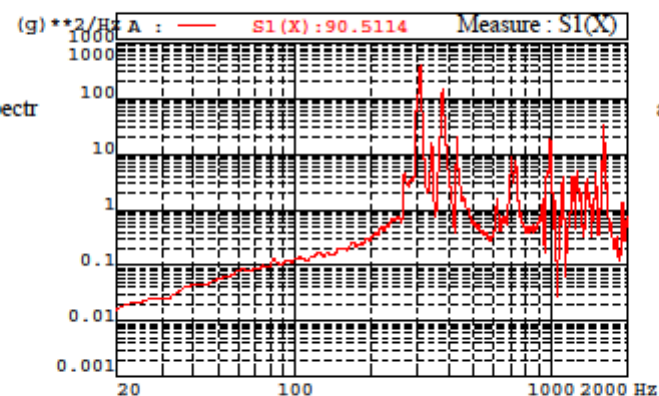
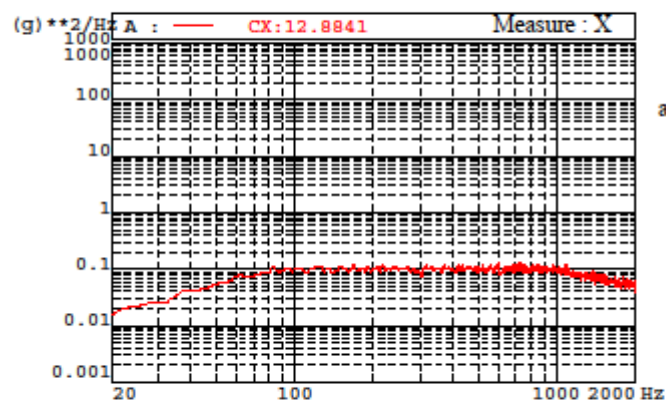




C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID: RUN_IX
RANDOM TEST X
DATE: 31-08-11



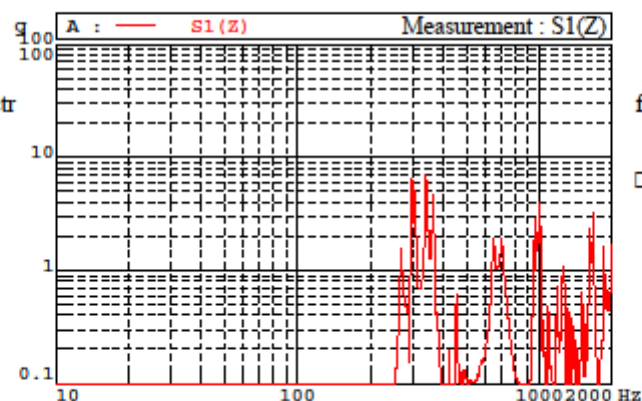
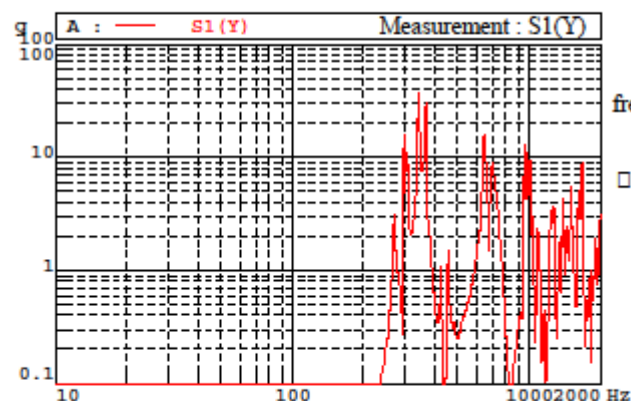
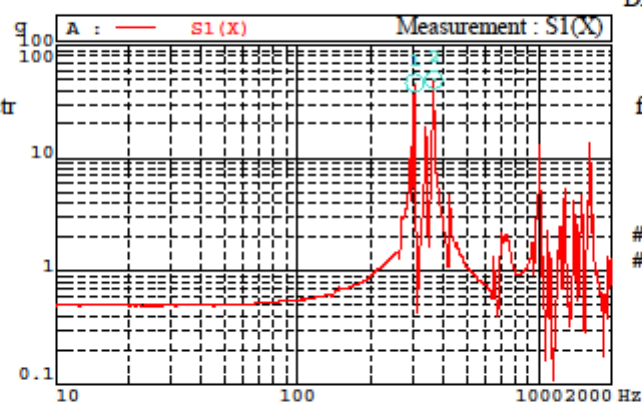
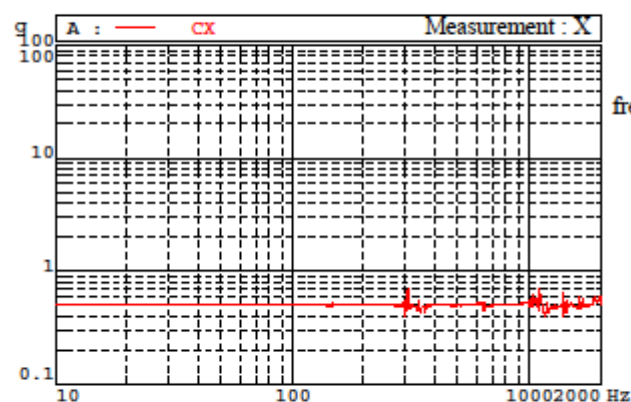


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID: RUN_X
CONTROL 2 TEST X
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



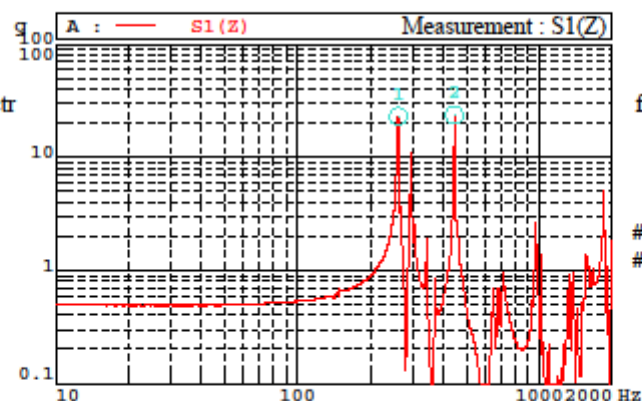
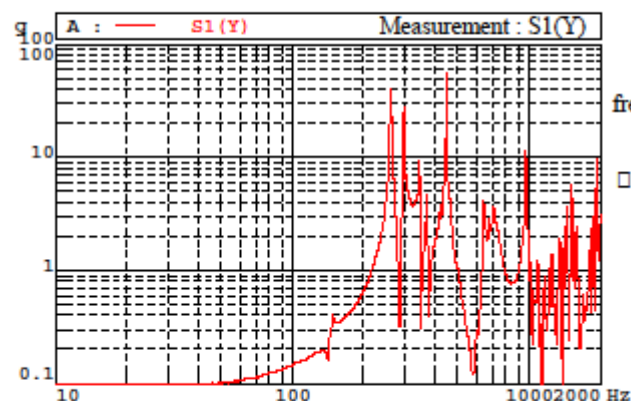
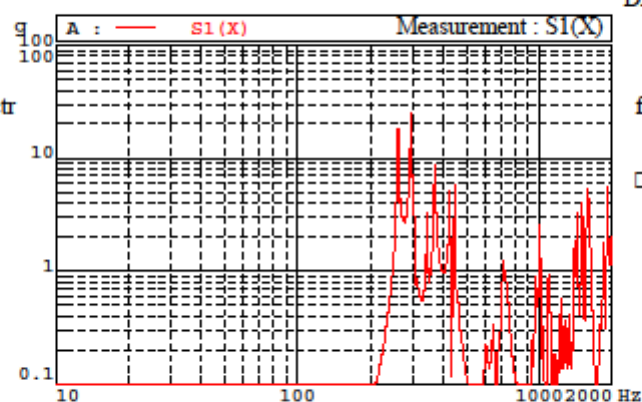
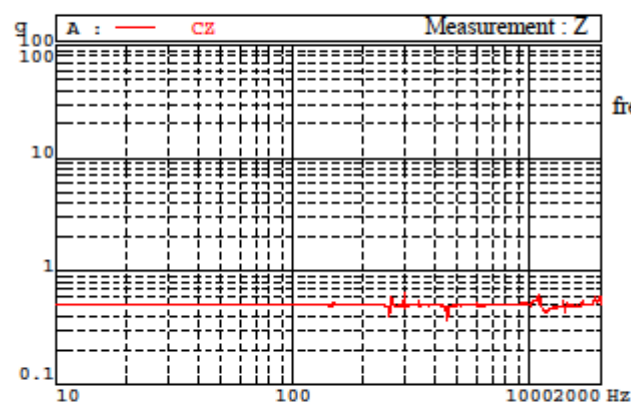


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID.:RUN_XI
REFERENCE TEST Z
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



S1(Z)
X(Hz) Y(g)
1 261.63 22.9
2 446.40 23.5

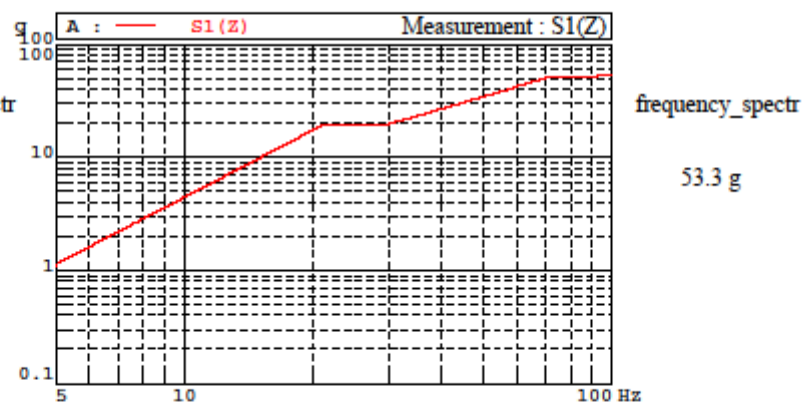
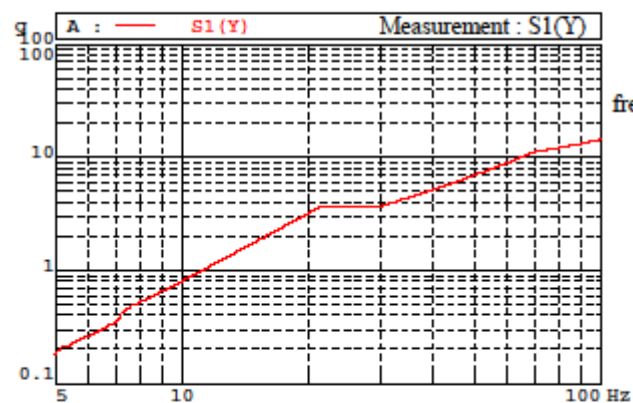
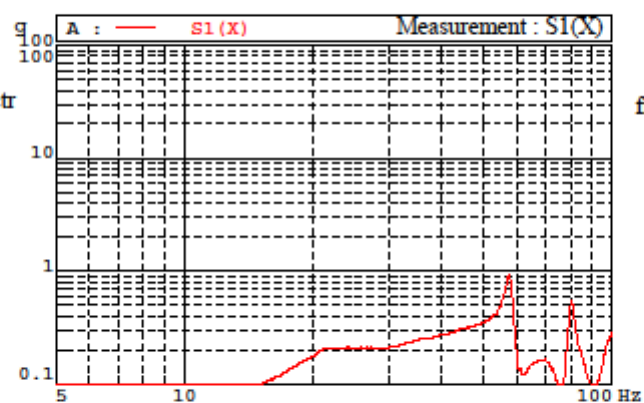
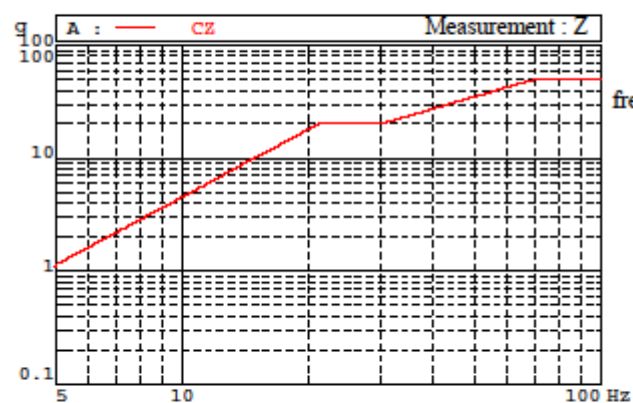


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

TEST ID.: RUN_XII
QUASI-STATIC & SINE TEST Z

PFM S/N:001

DATE :31-08-11



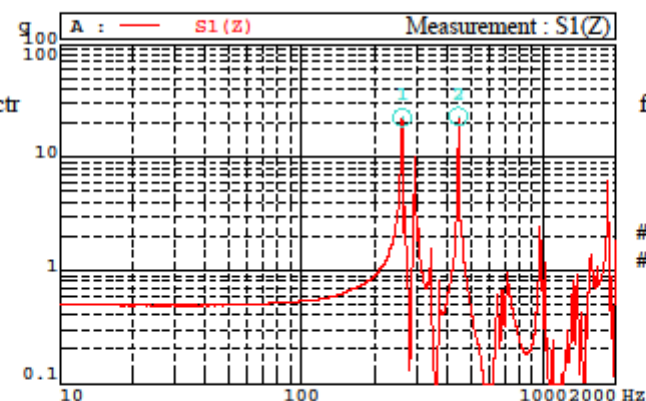
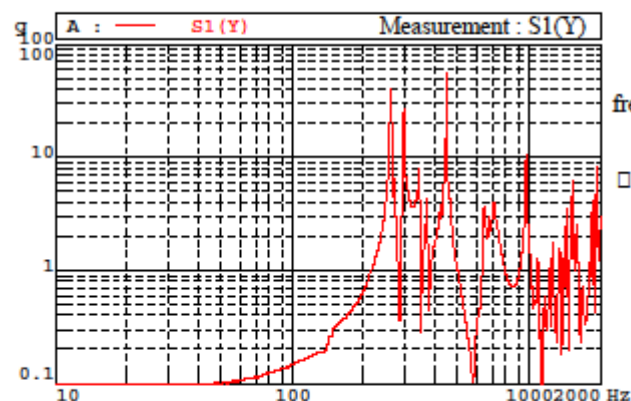
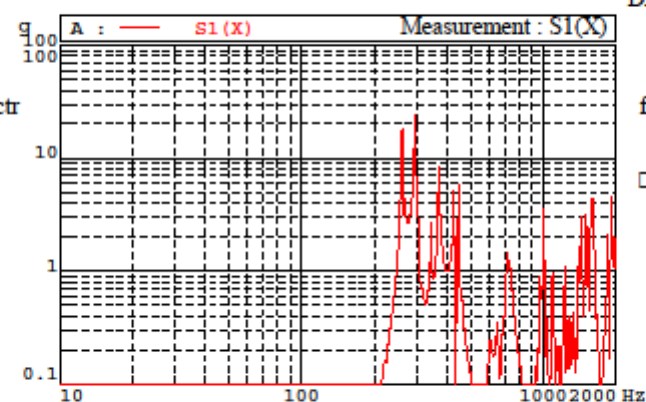
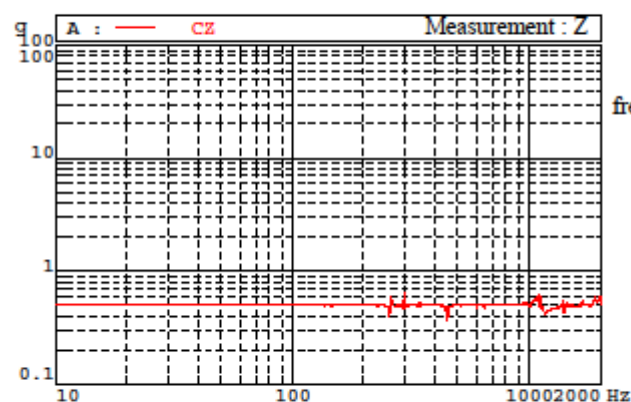


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID.:RUN_XIII
CONTROL 1 TEST Z
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



S1(Z)
X(Hz) Y(g)
1 261.61 22.4
2 446.37 23



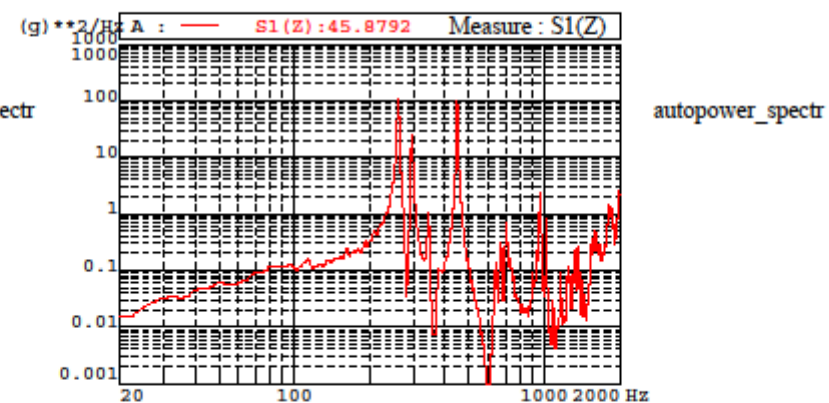
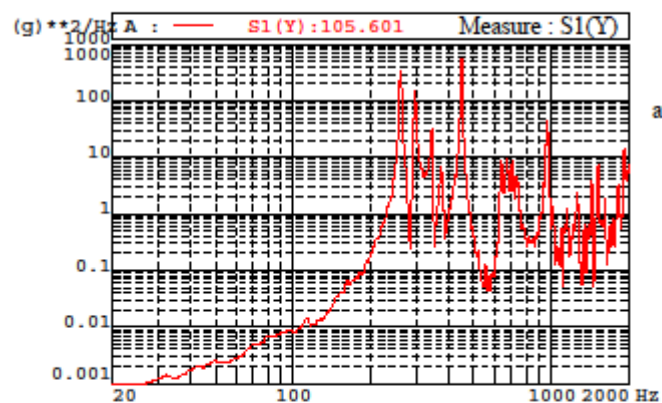
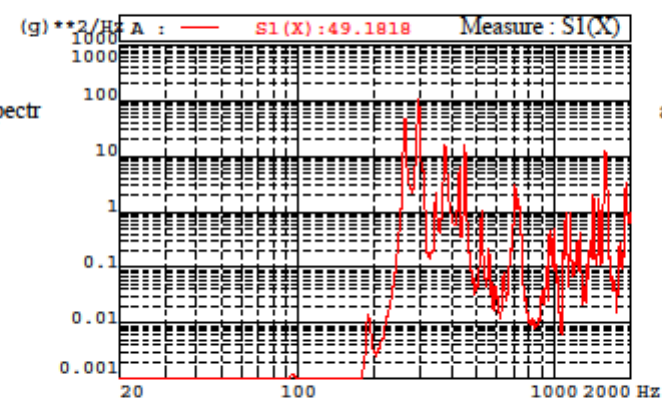
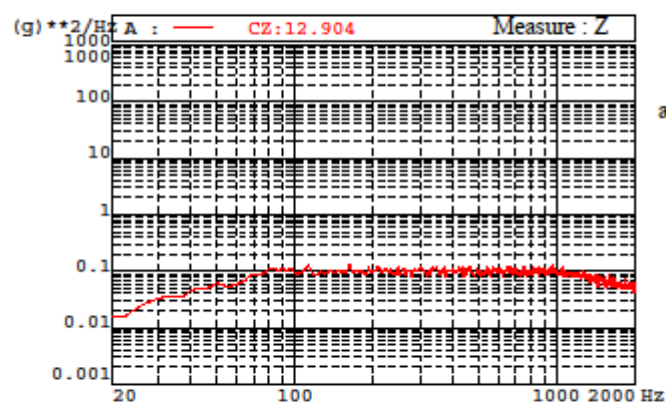
C-BAND BEACON HORN ANTENNA

TEST ID.: RUN_XIV

RANDOM TEST Z

DATE: 31-08-11

PFM S/N:001



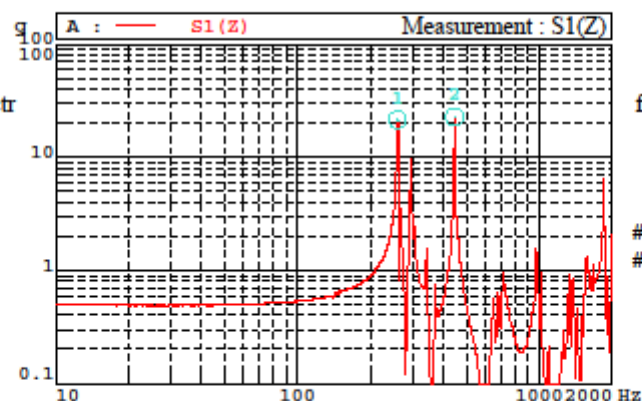
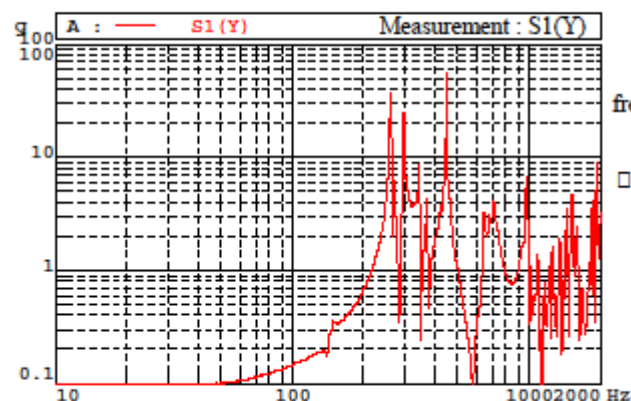
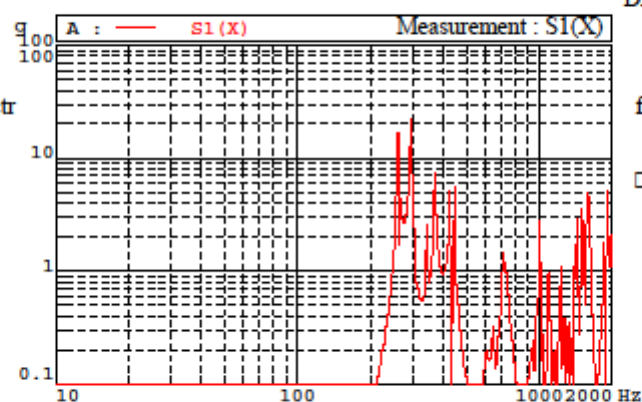
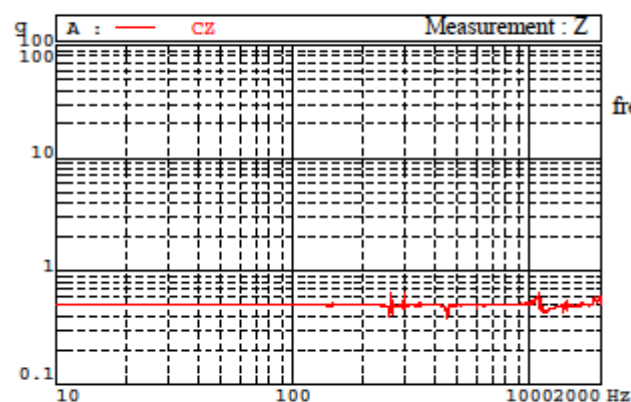


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID:RUN_XV
CONTROL 2 TEST Z
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



S1(Z)
X(Hz) Y(g)
1 259.82 21.6
2 446.37 22.8

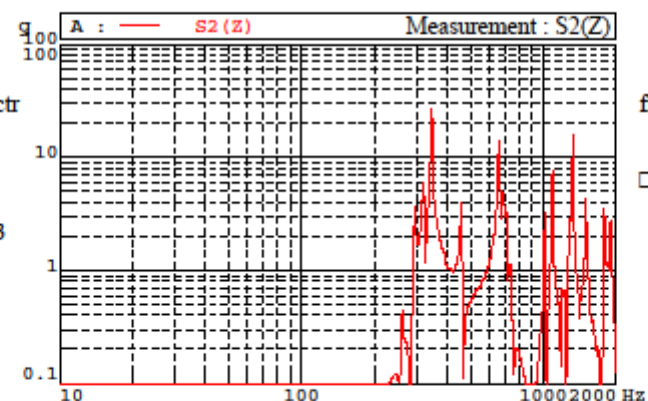
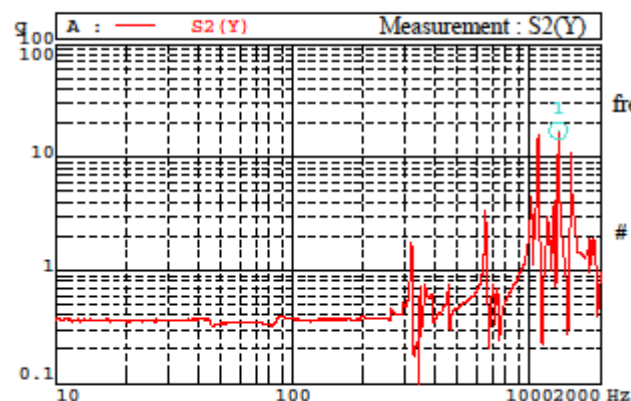
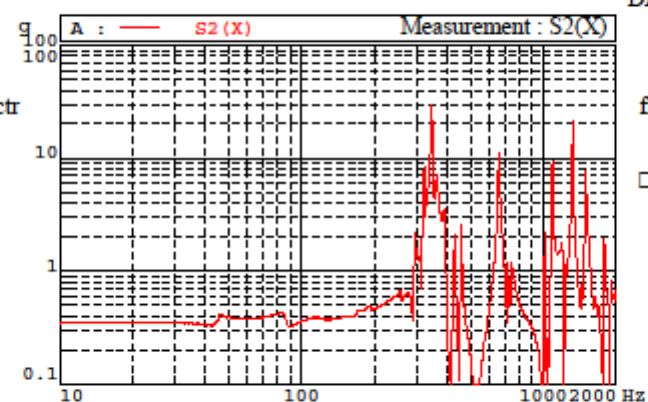
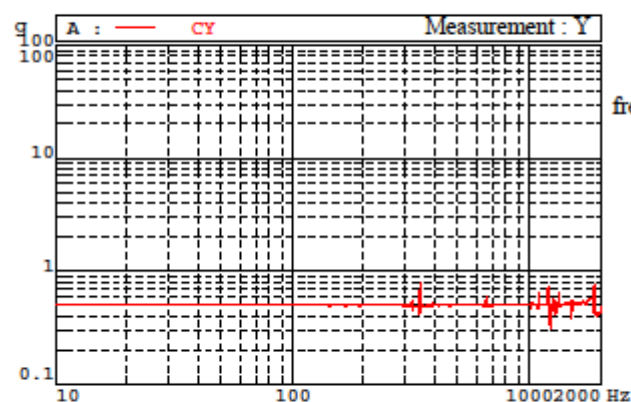


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID: RUN_I
REFERENCE TEST Y
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



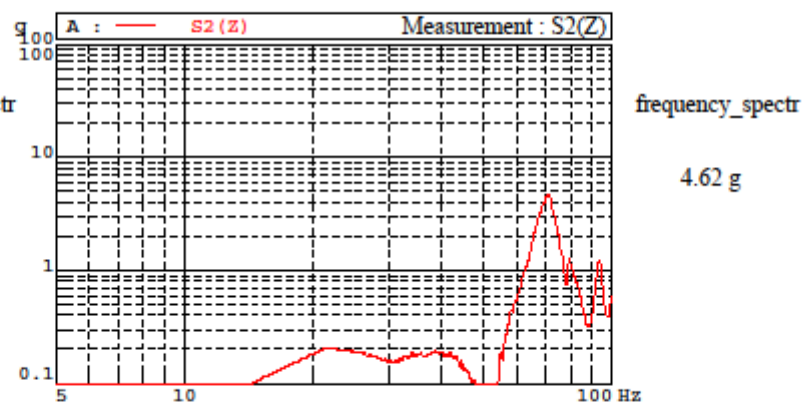
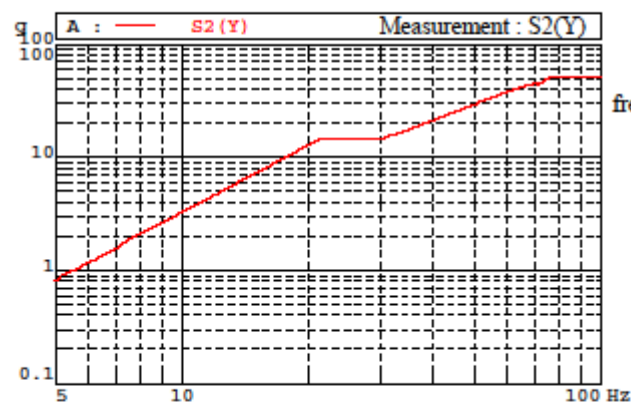
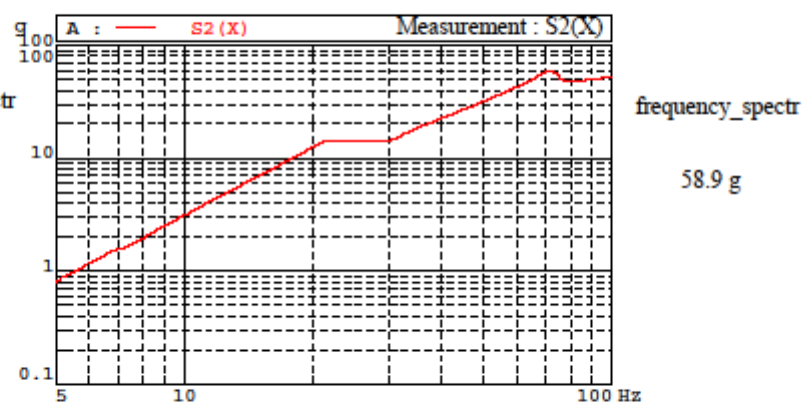
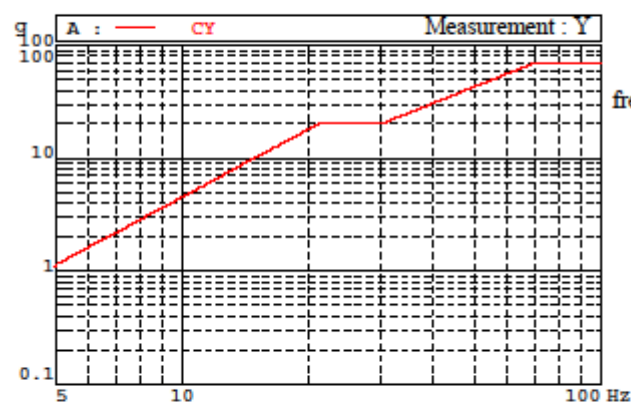


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

TEST ID.:RUN_II
QUASI-STATIC & SINE TEST Y

PFM S/N:001

DATE :31-08-11



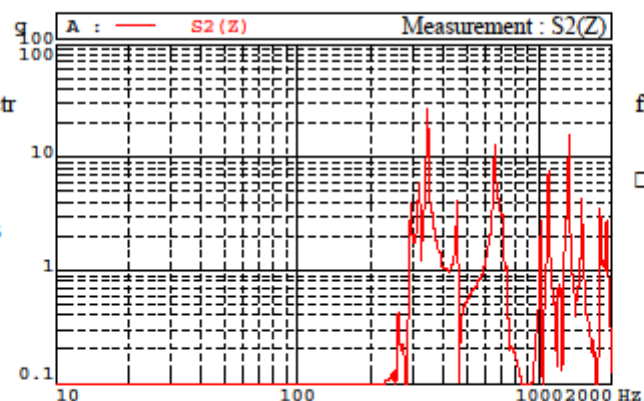
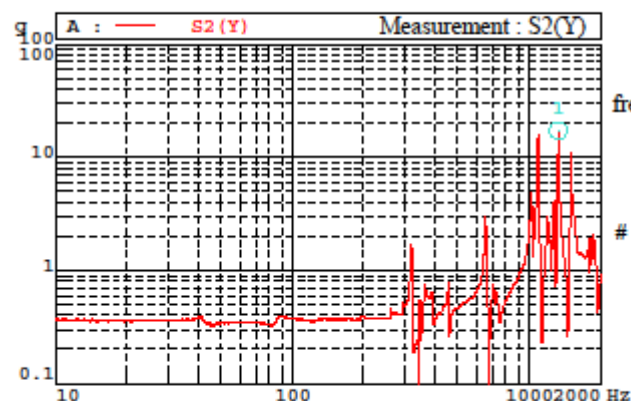
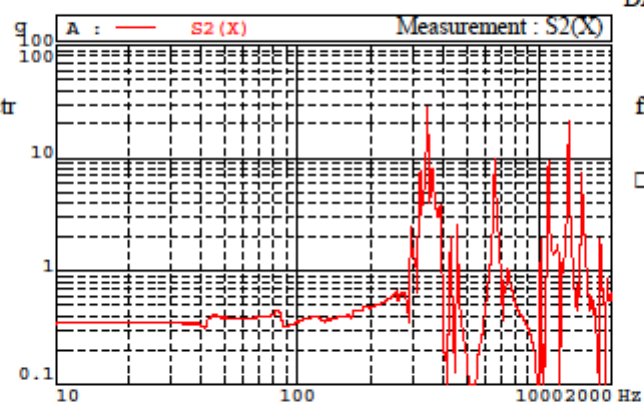
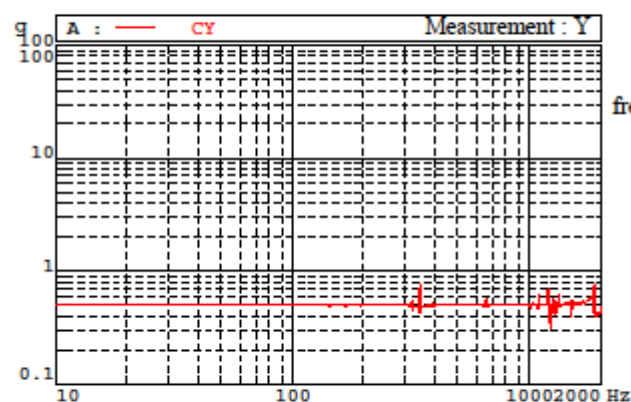


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID: RUN_III
 CONTROL 1 TEST Y
 SINE 0.5 g

DATE :31-08-11





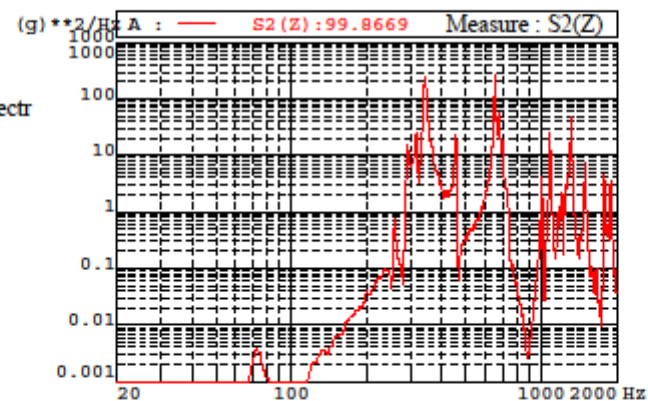
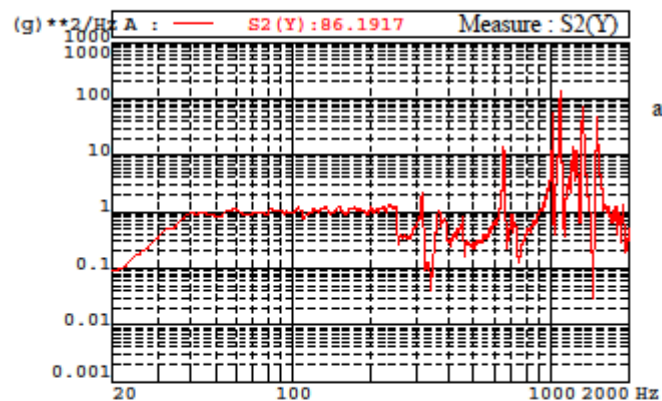
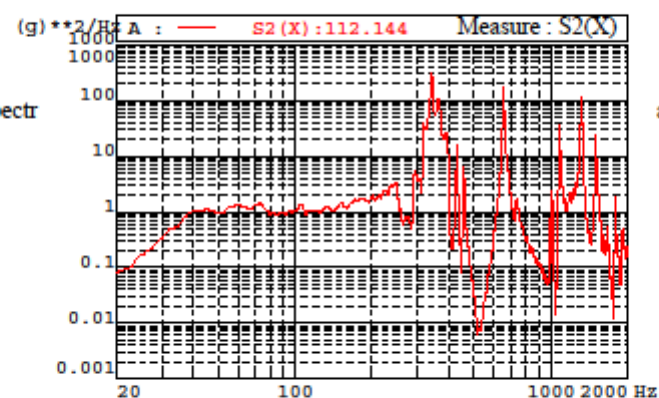
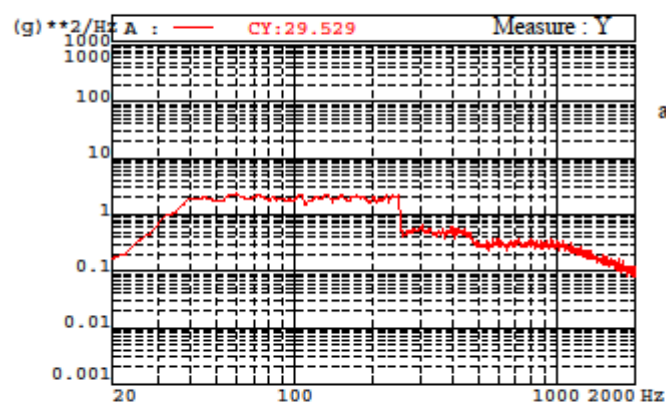
C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID:RUN_IV

RANDOM TEST Y

DATE: 31-08-11



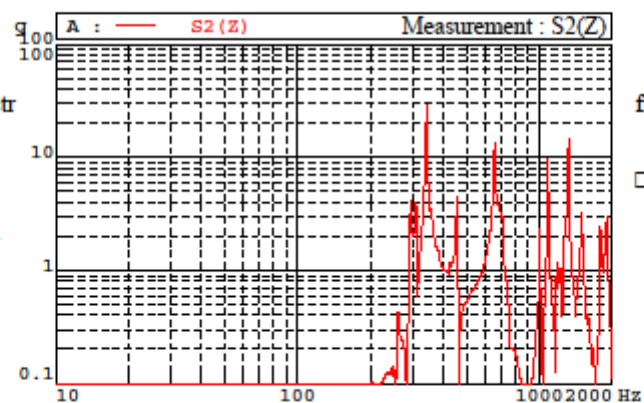
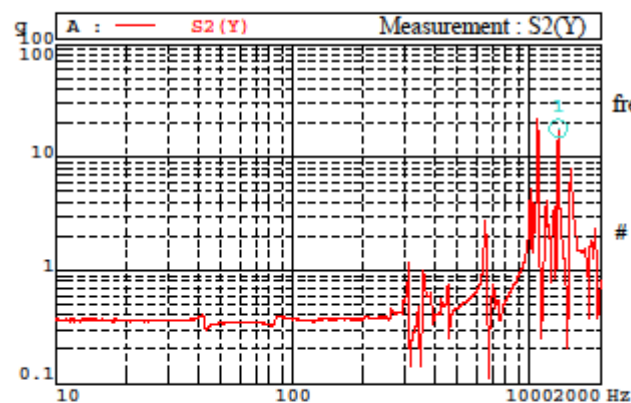
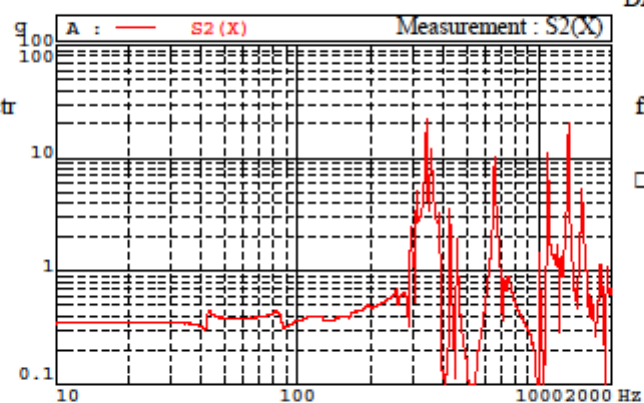
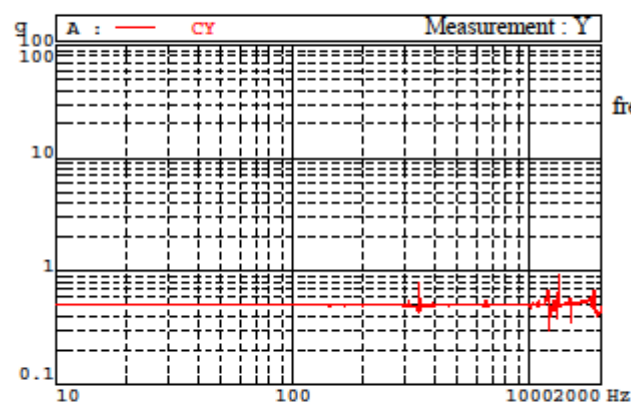


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID: RUN_V
 CONTROL 2 TEST Y
 SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



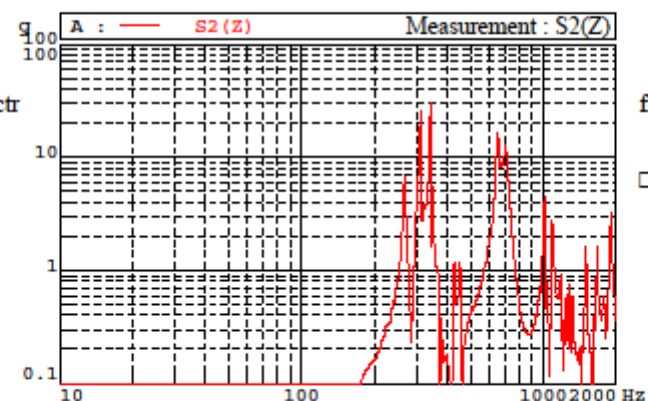
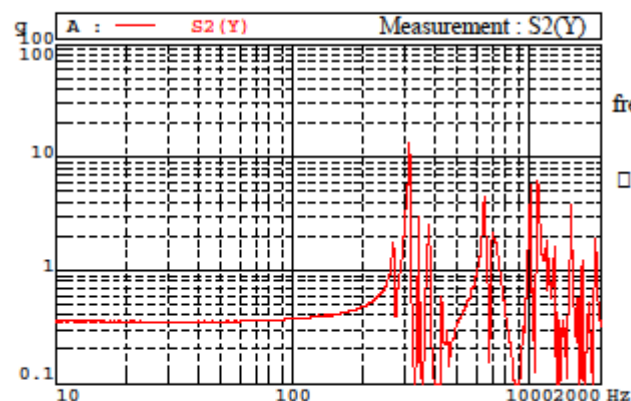
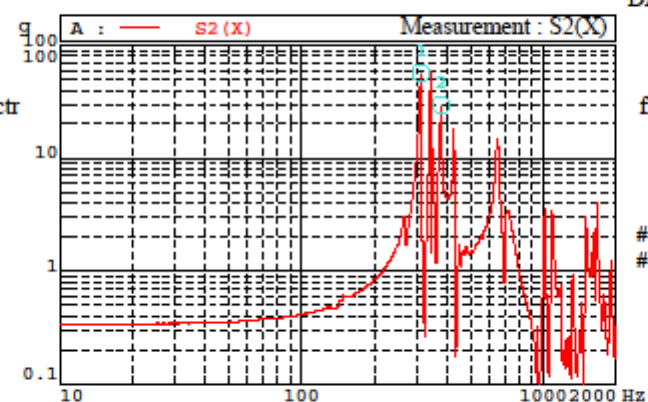
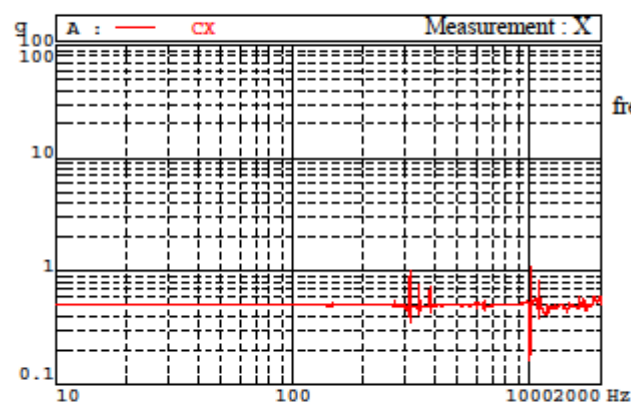


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID.:RUN_VI
REFERENCE TEST X
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



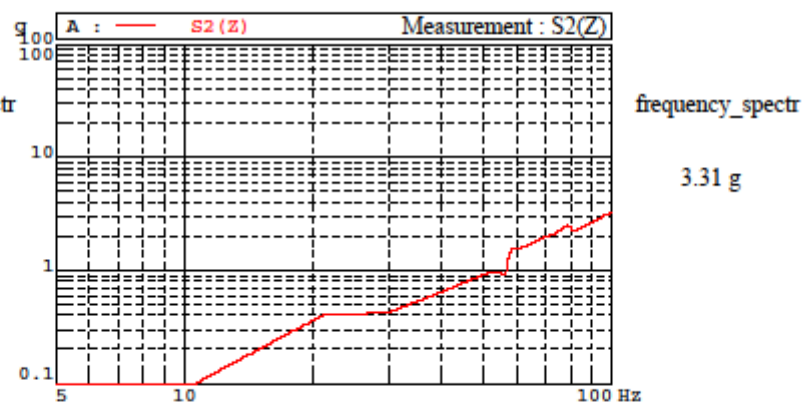
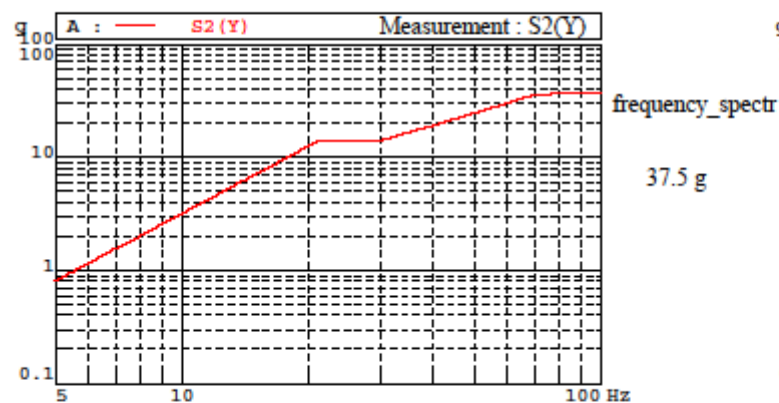
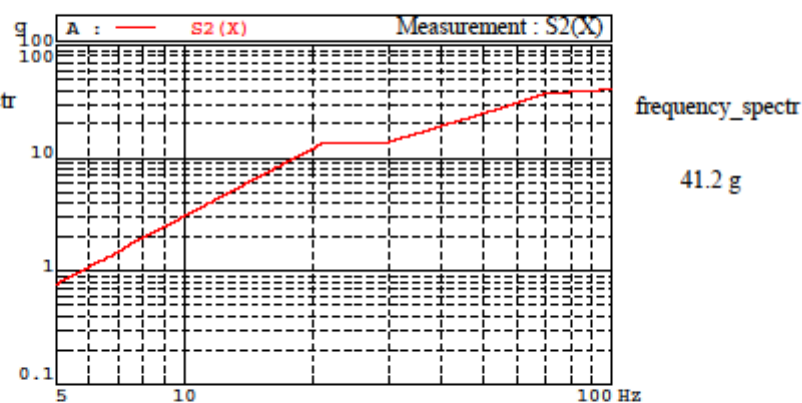
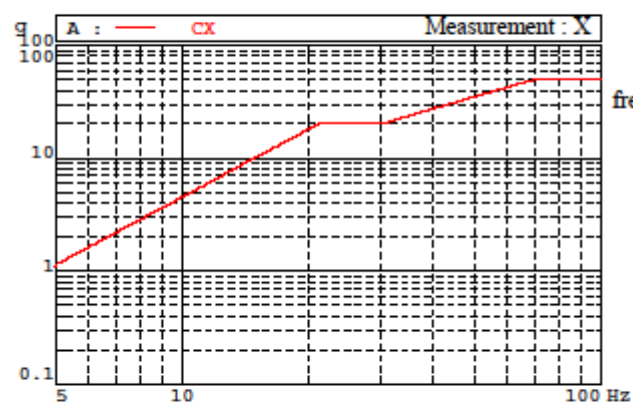


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

TEST ID.: RUN_VII
QUASI-STATIC & SINE TEST X

PFM S/N:001

DATE :31-08-11



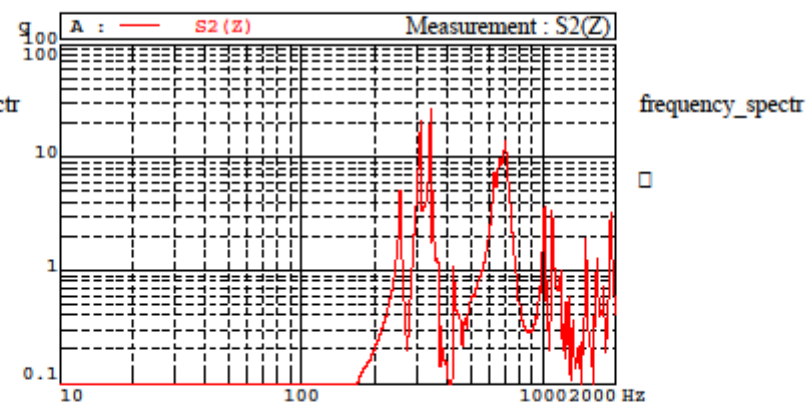
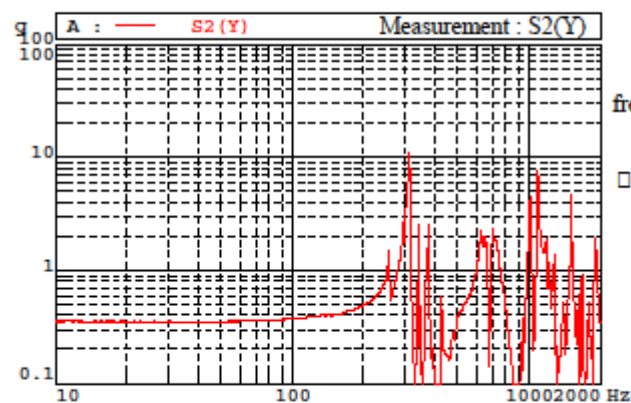
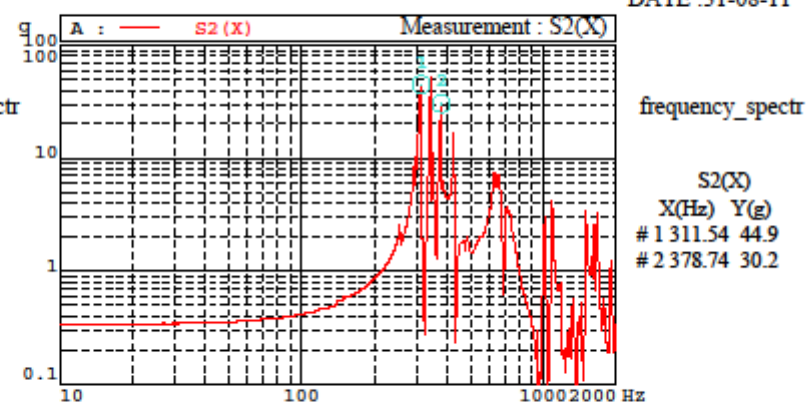
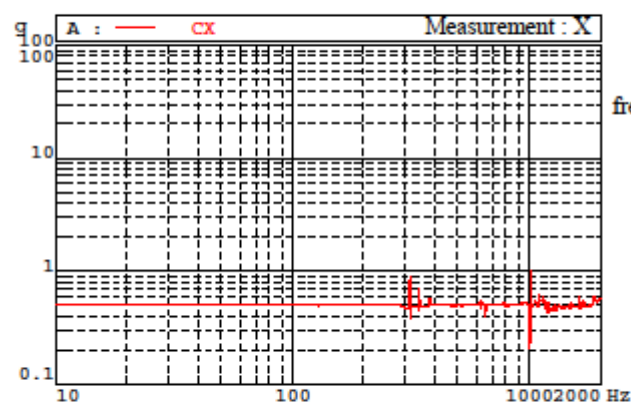


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID.:RUN_VIII
CONTROL 1 TEST X
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11





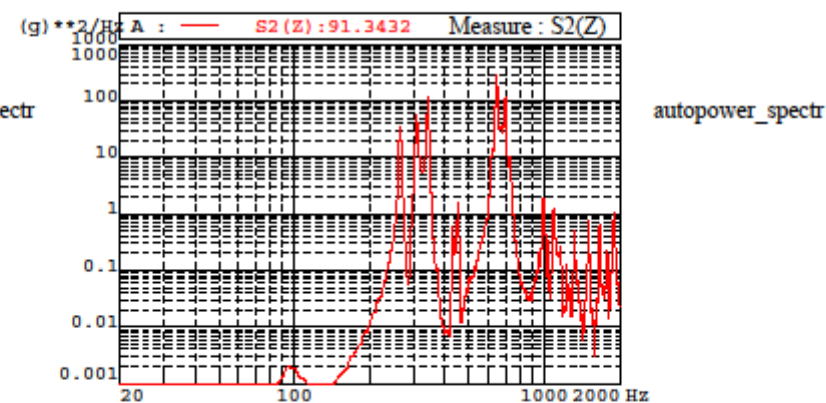
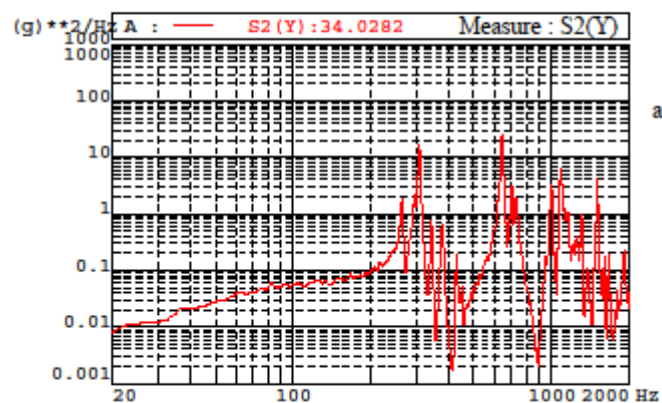
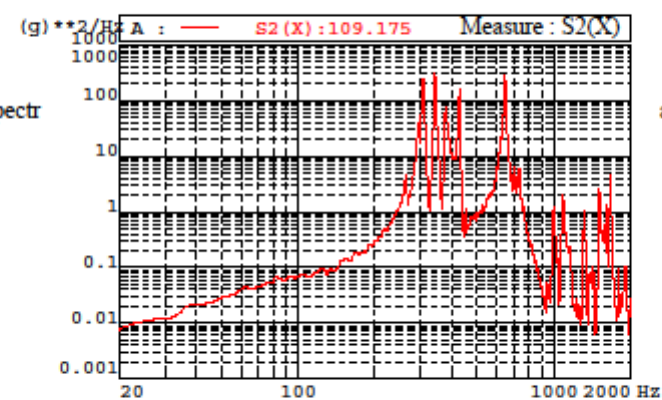
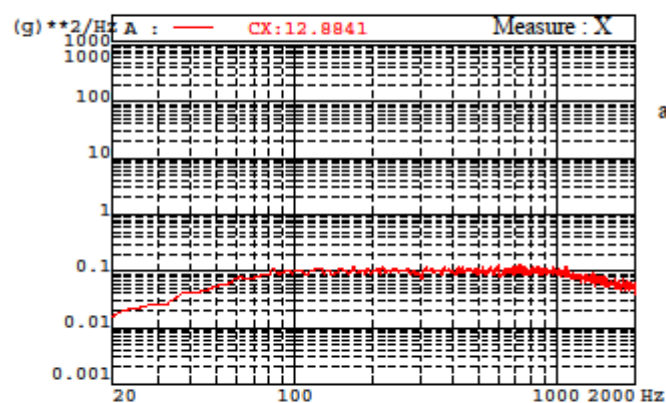
C-BAND BEACON HORN ANTENNA

TEST ID.: RUN_IX

RANDOM TEST X

DATE: 31-08-11

PFM S/N:001



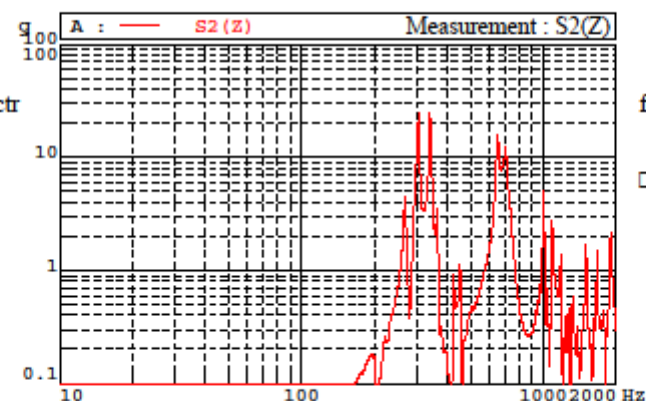
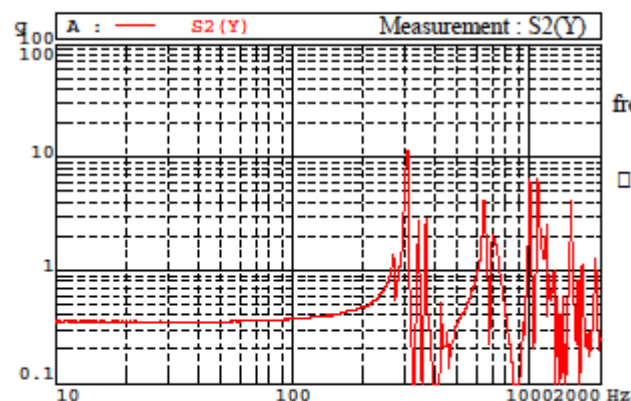
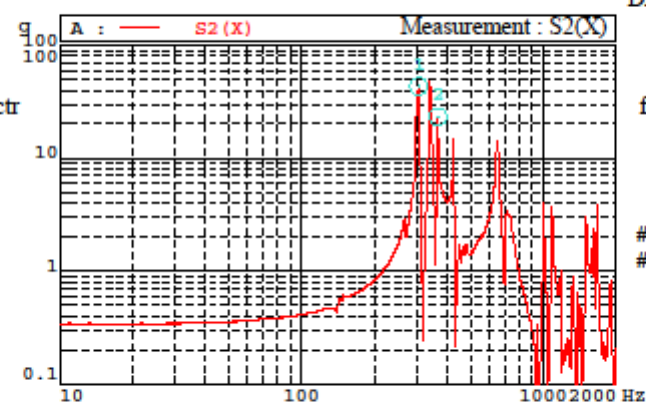
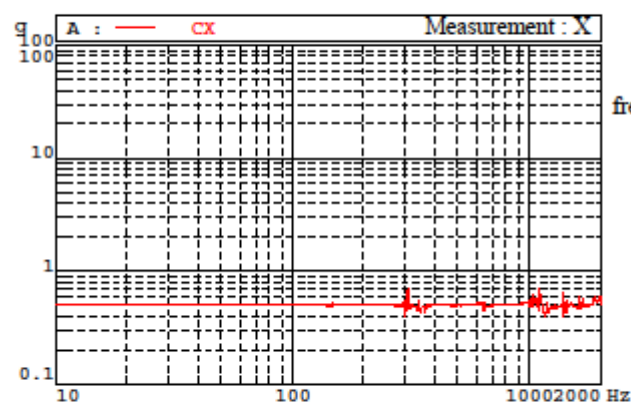


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID.:RUN_X
CONTROL 2 TEST X
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



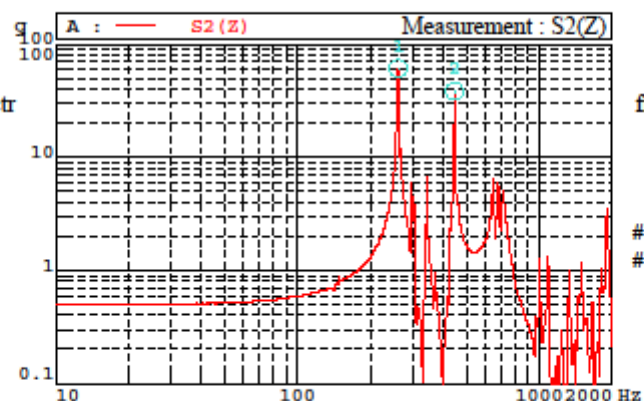
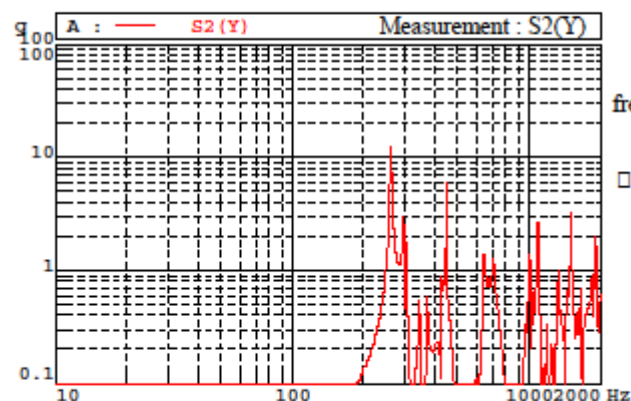
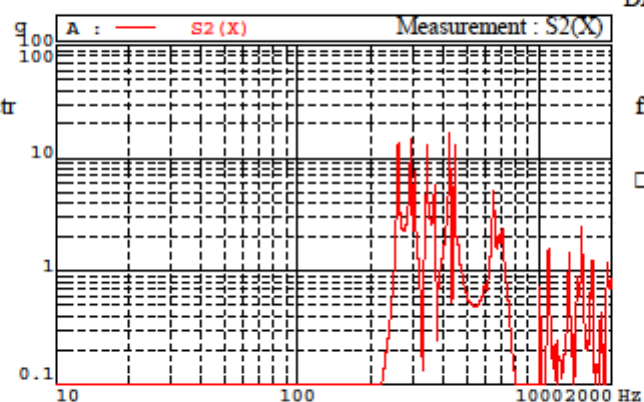
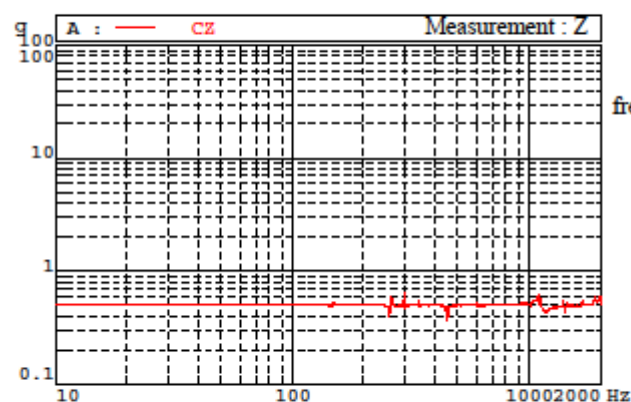


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID: RUN_XI
REFERENCE TEST Z
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



S2(Z)
X(Hz) Y(g)
1 261.63 61.3
2 446.40 38

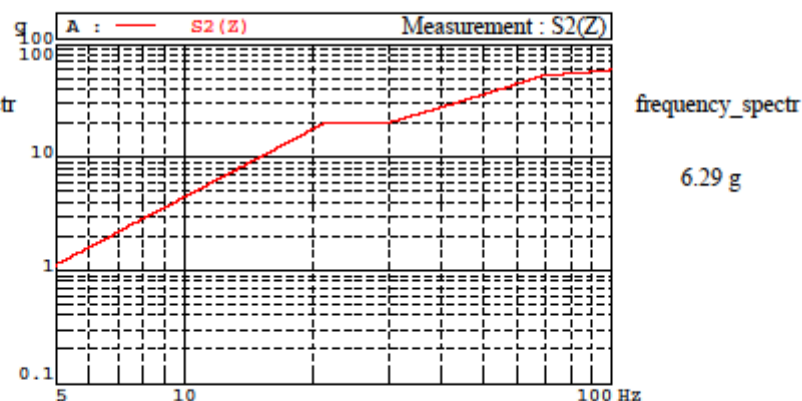
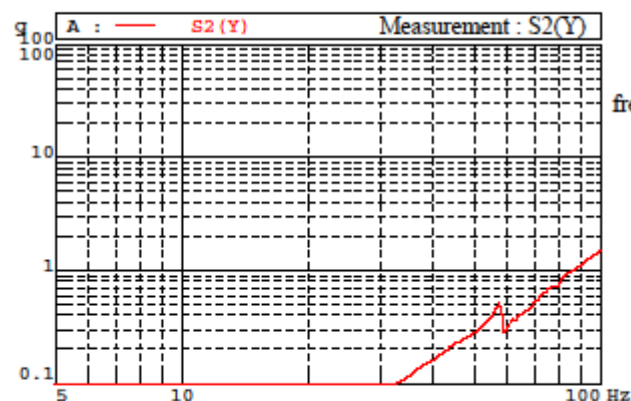
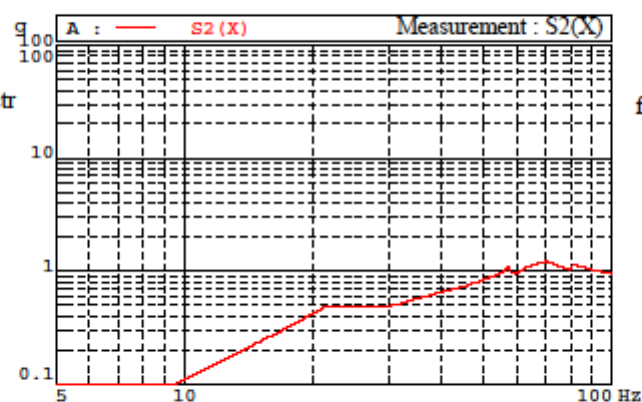
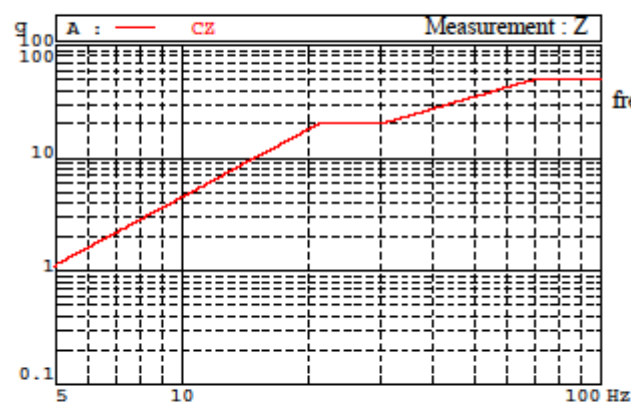


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

TEST ID.:RUN_XII
QUASI-STATIC & SINE TEST Z

PFM S/N:001

DATE :31-08-11



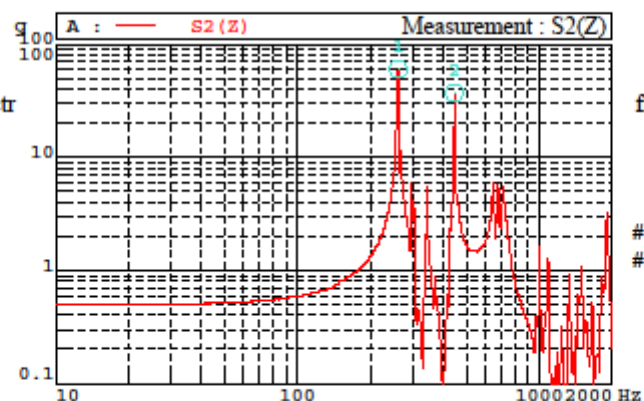
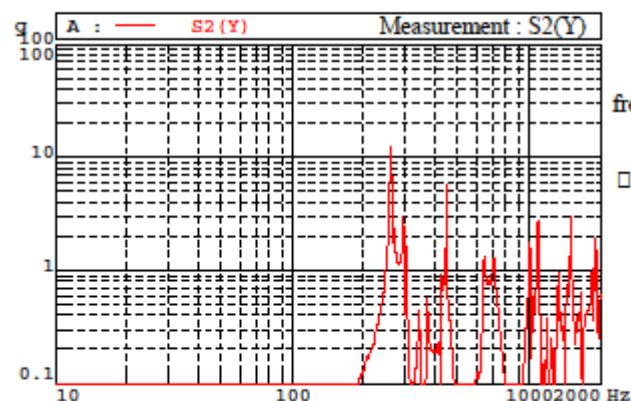
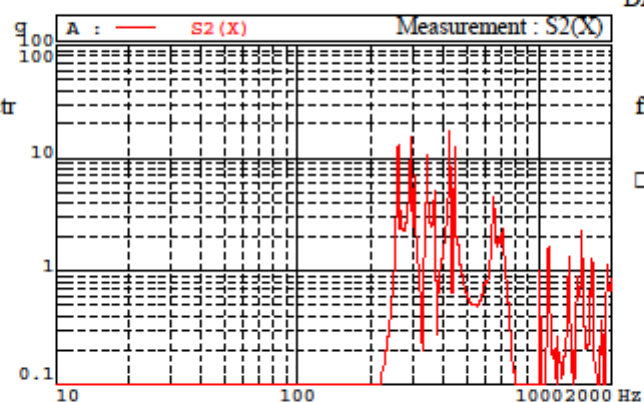
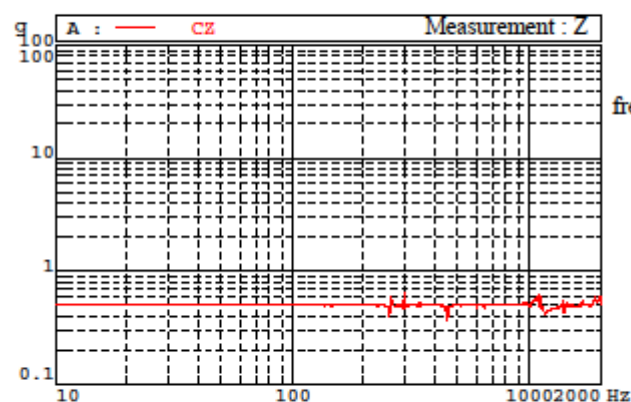


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID: RUN_XIII
 CONTROL 1 TEST Z
 SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



S2(Z)
 X(Hz) Y(g)
 # 1 261.61 60
 # 2 446.37 37.5



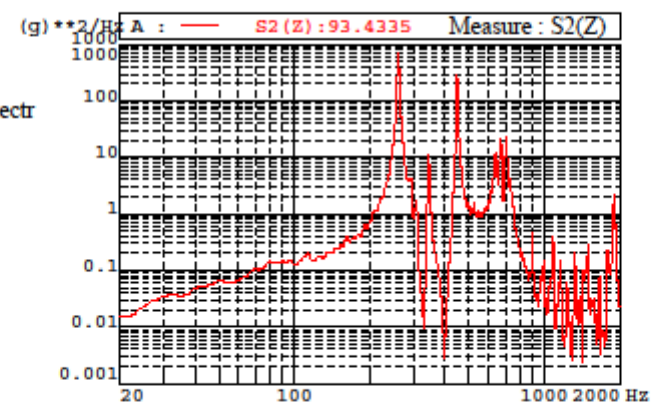
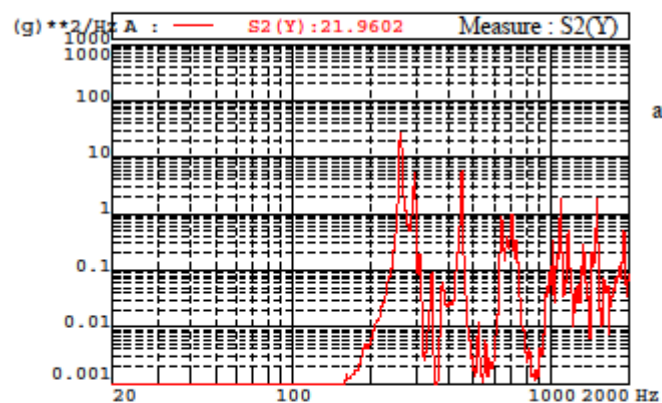
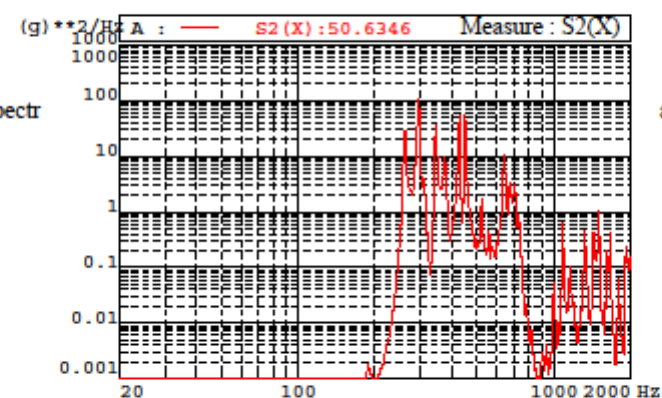
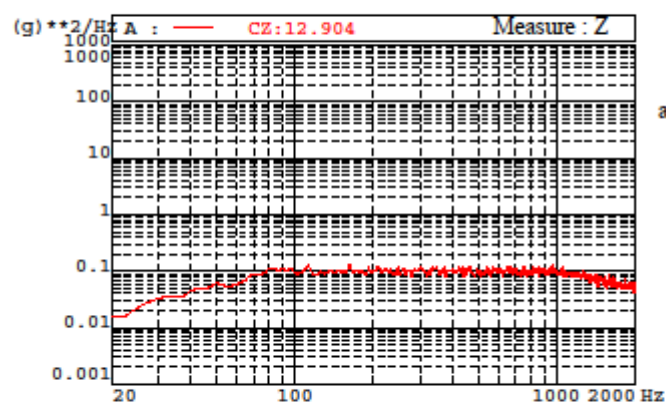
C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID:RUN_XIV

RANDOM TEST Z

DATE: 31-08-11





C-BAND BEACON HORN ANTENNA

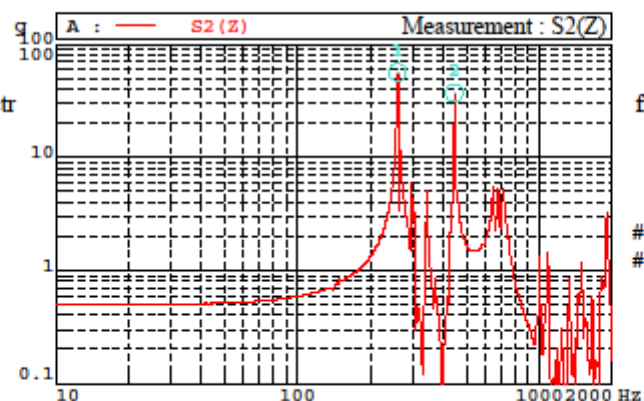
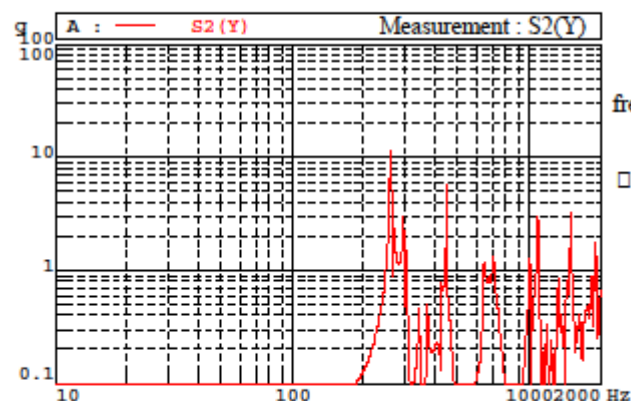
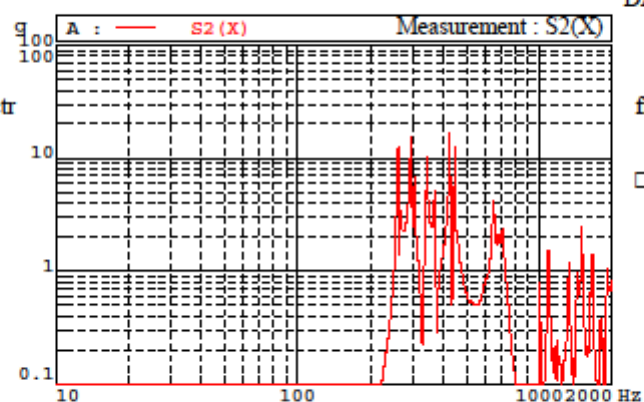
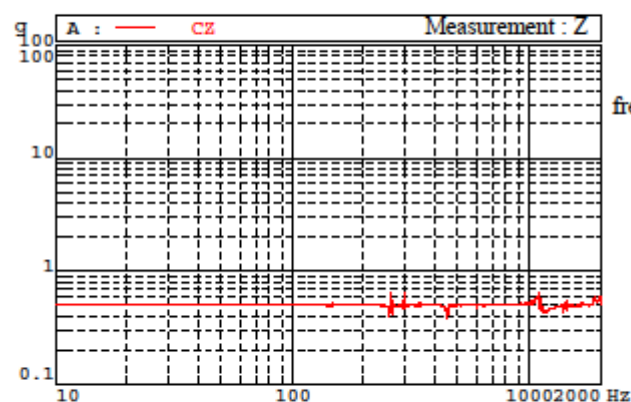
PFM S/N:001

TEST ID:RUN_XV

CONTROL 2 TEST Z

SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



S2(Z)

X(Hz)	Y(g)
# 1 259.82	56.3
# 2 446.37	37.3

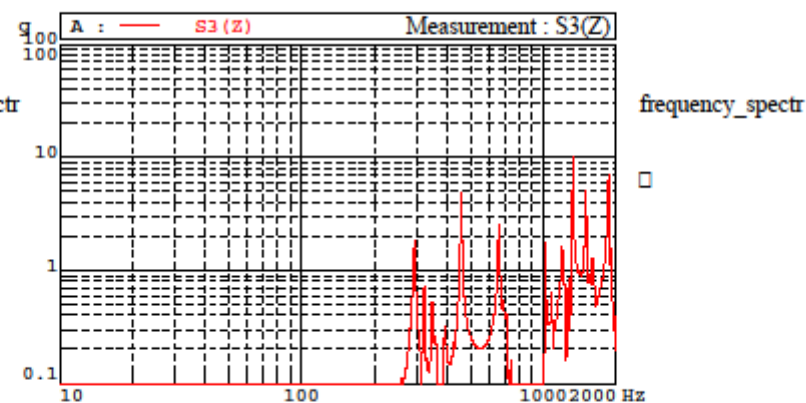
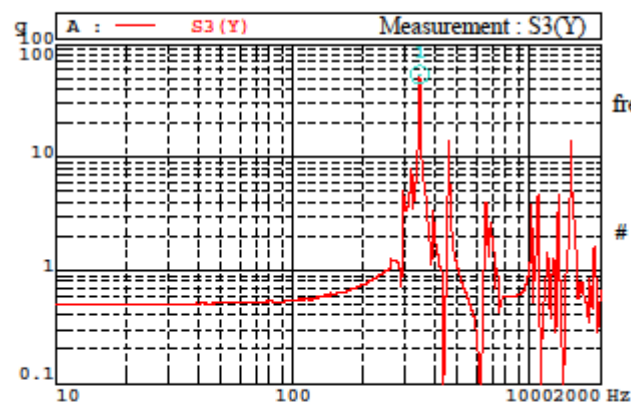
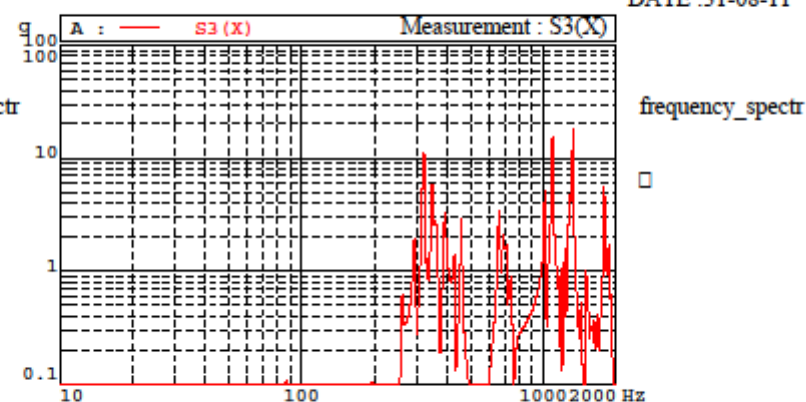
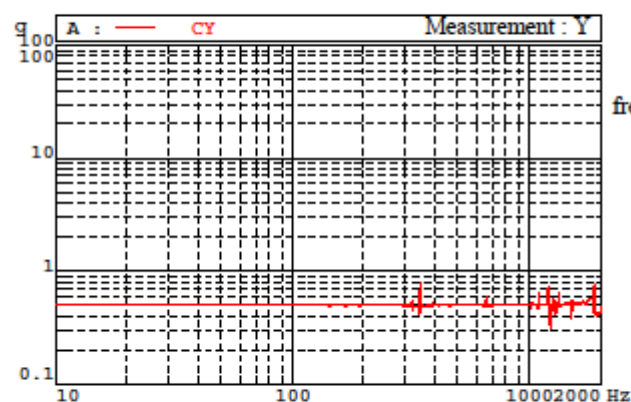


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID:RUN_I
REFERENCE TEST Y
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



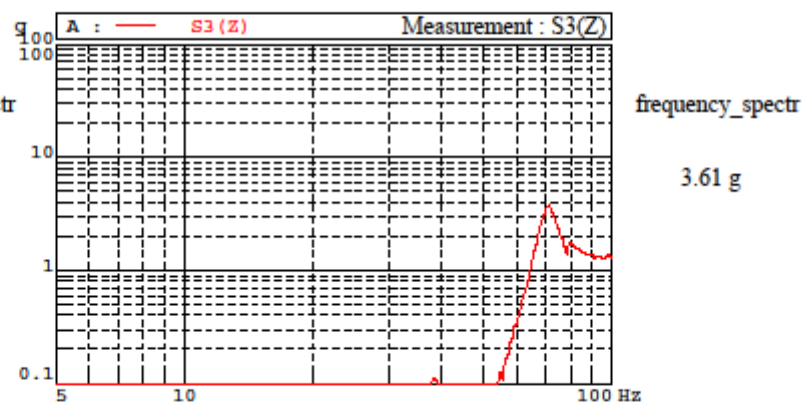
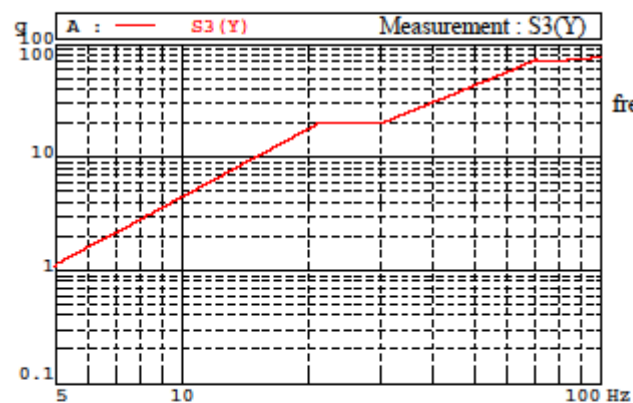
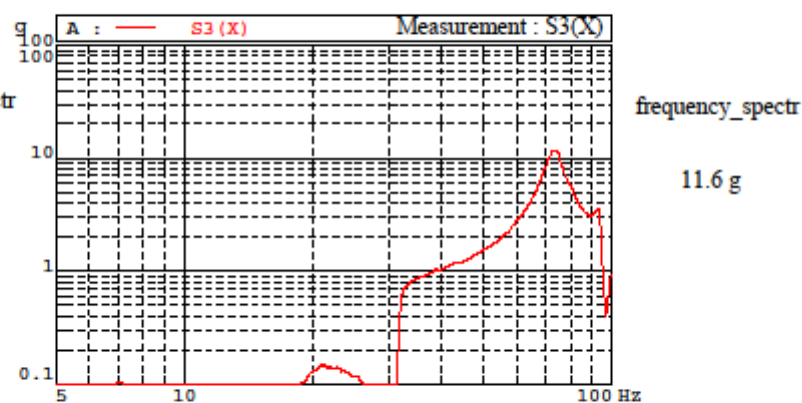
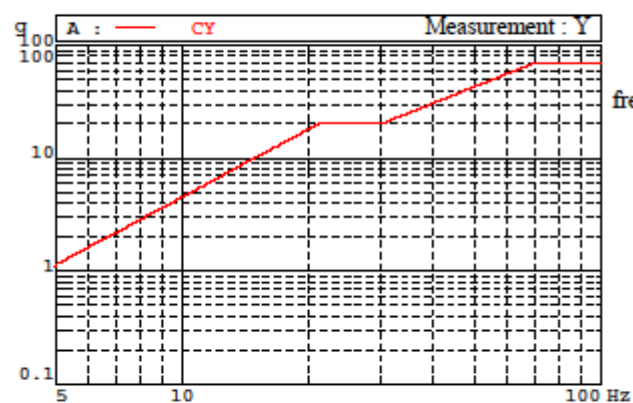


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

TEST ID.: RUN_II
QUASI-STATIC & SINE TEST Y

PFM S/N:001

DATE :31-08-11



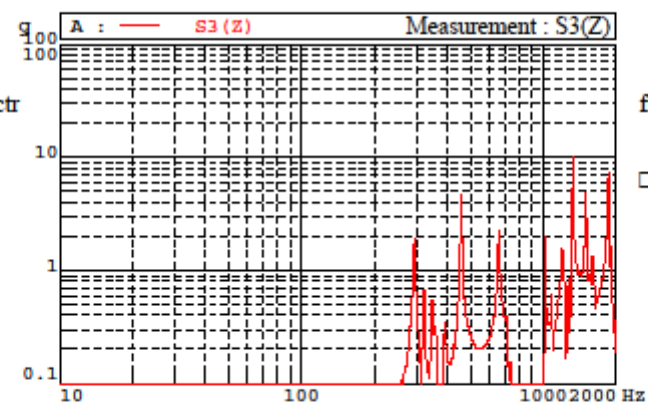
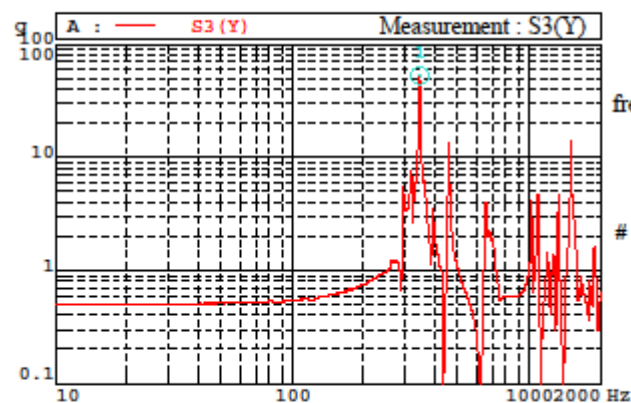
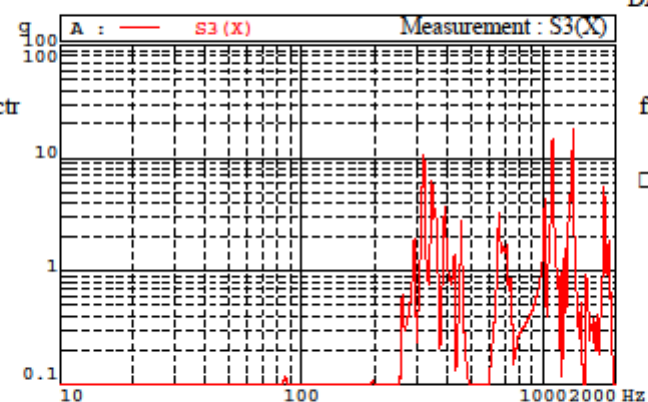
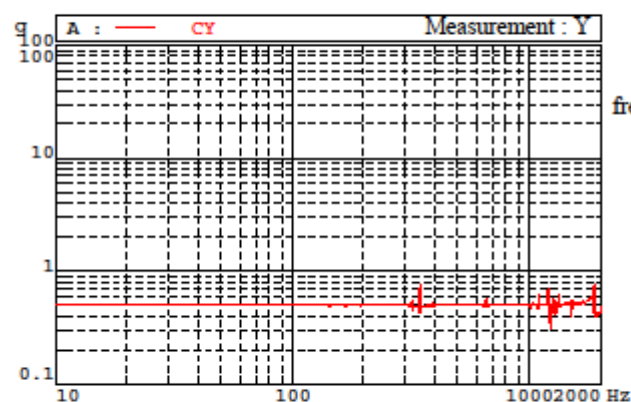


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID.:RUN_III
CONTROL 1 TEST Y
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11





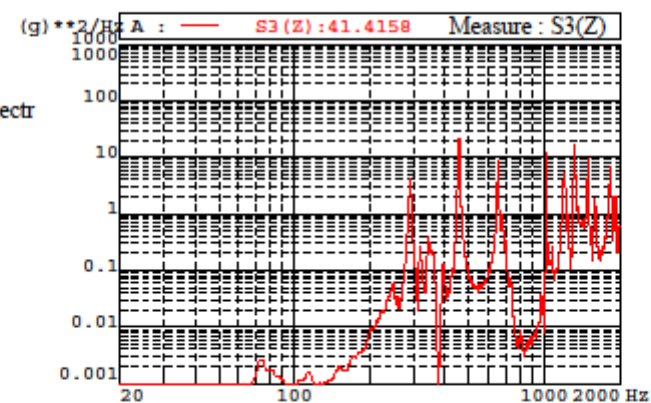
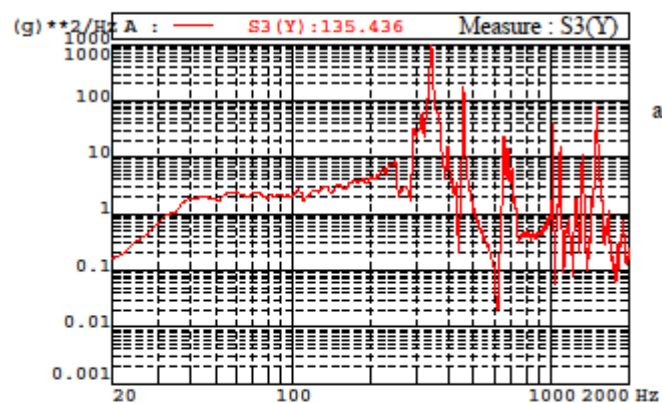
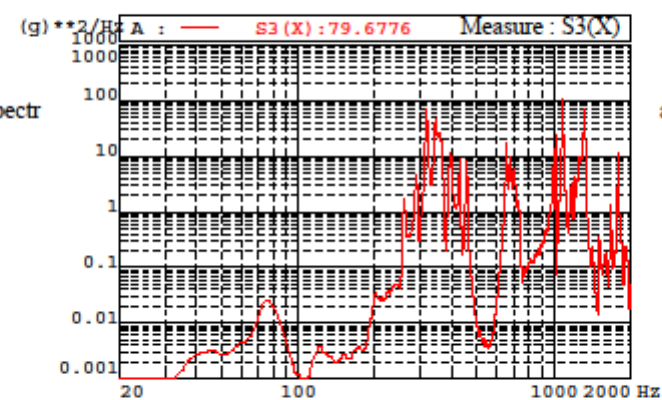
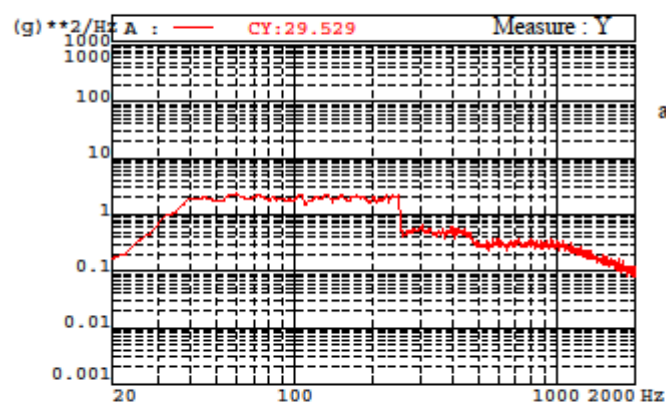
C-BAND BEACON HORN ANTENNA

TEST ID.: RUN_IV

RANDOM TEST Y

DATE: 31-08-11

PFM S/N:001



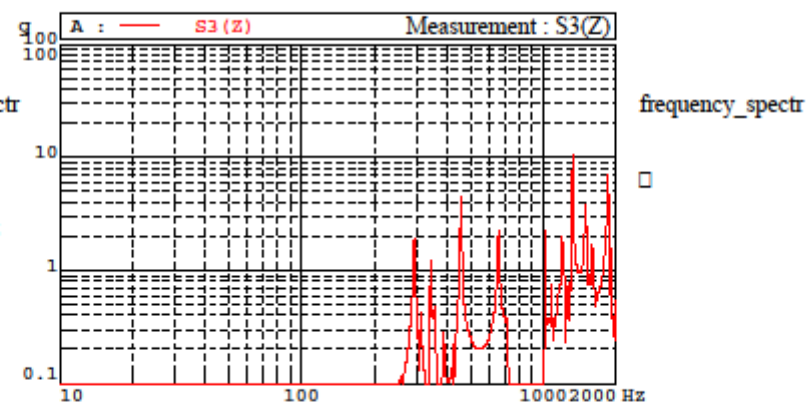
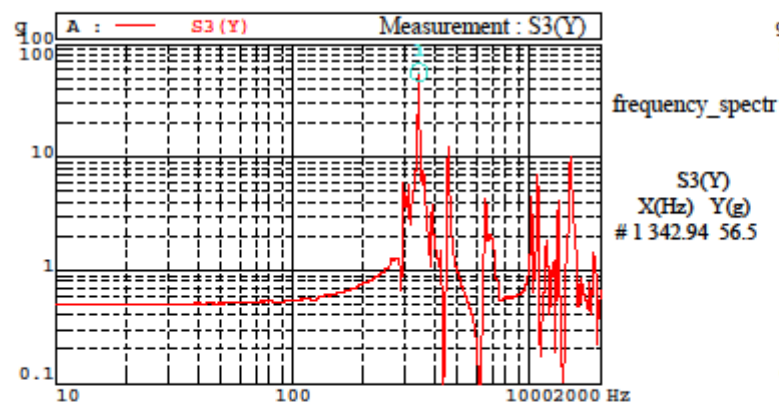
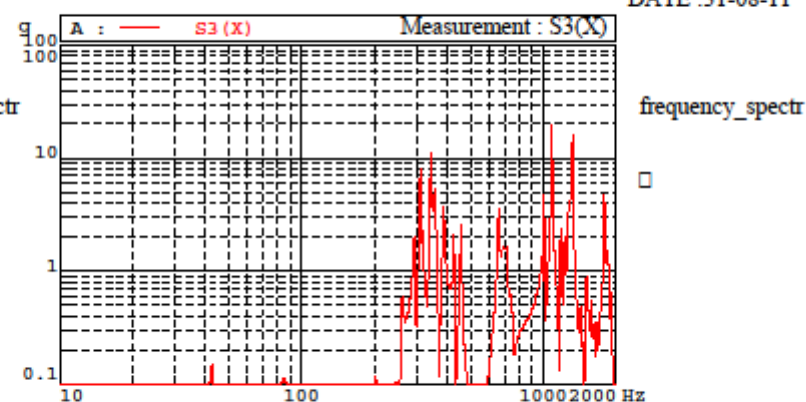
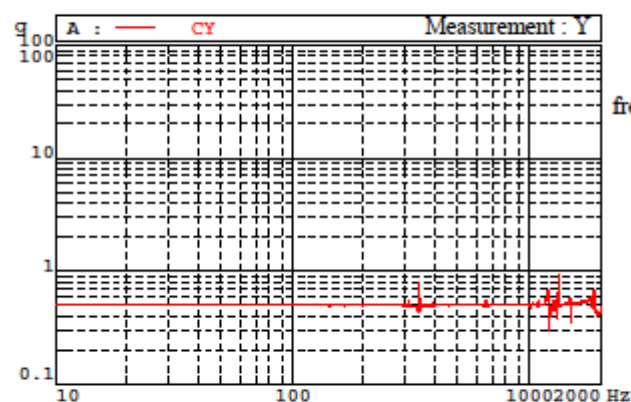


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID.:RUN_V
CONTROL 2 TEST Y
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



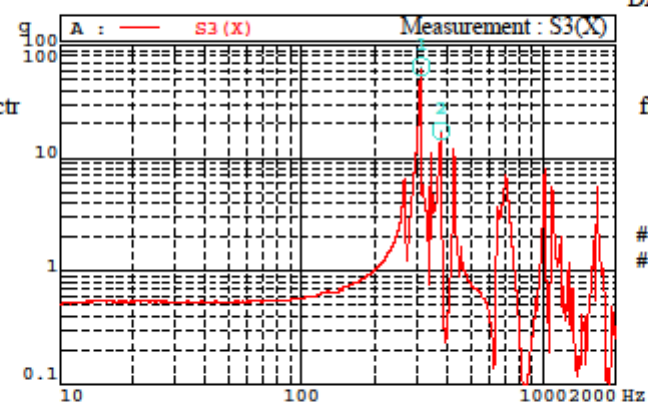
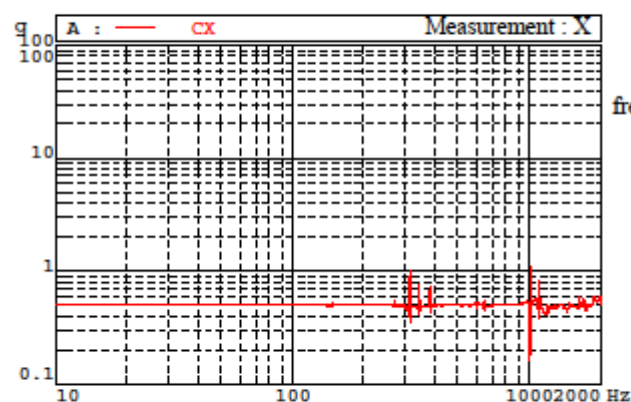


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

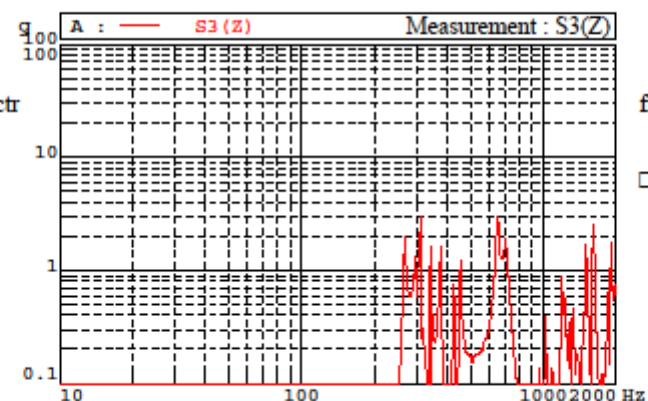
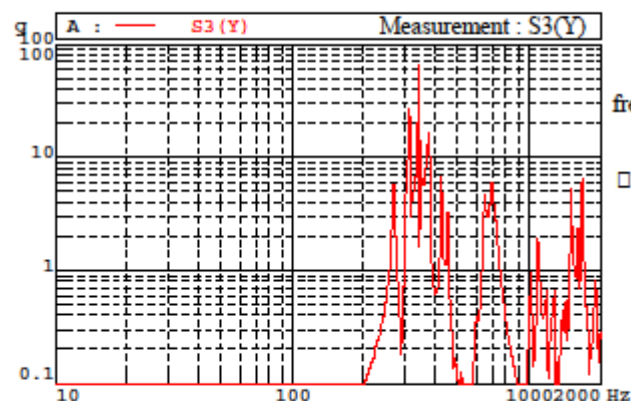
PFM S/N:001

TEST ID: RUN_VI
REFERENCE TEST X
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



S3(X)
X(Hz) Y(g)
1 311.53 64.6
2 378.31 17.4



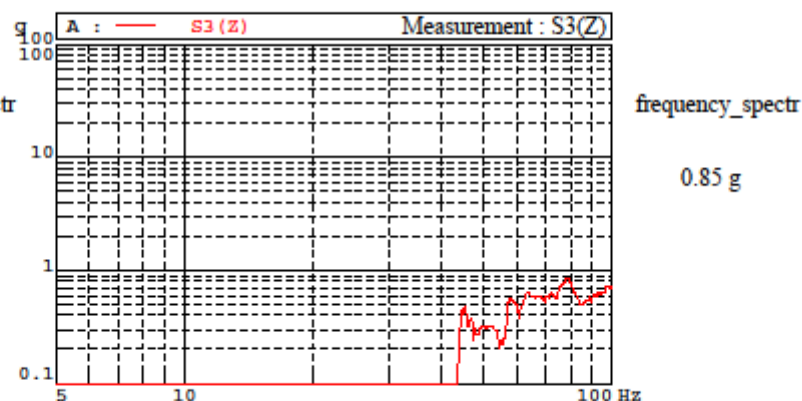
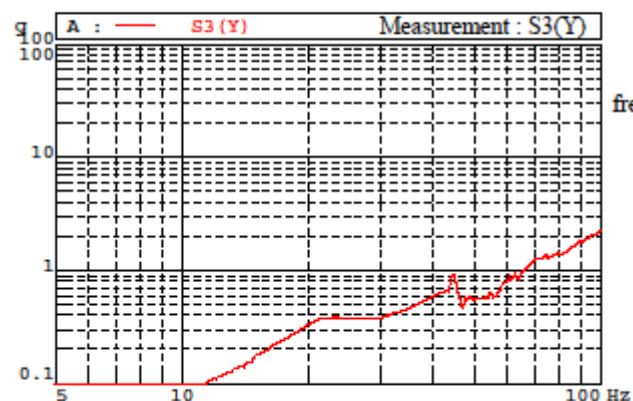
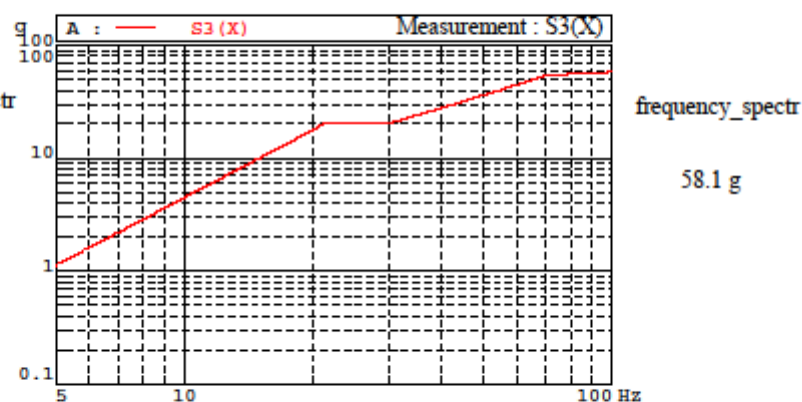
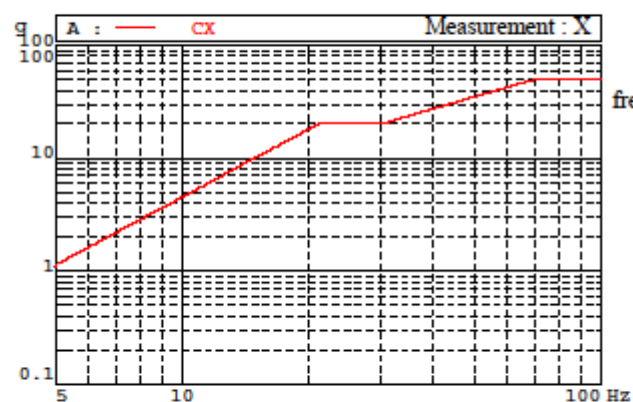


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

TEST ID.: RUN_VII
QUASI-STATIC & SINE TEST X

PFM S/N:001

DATE :31-08-11



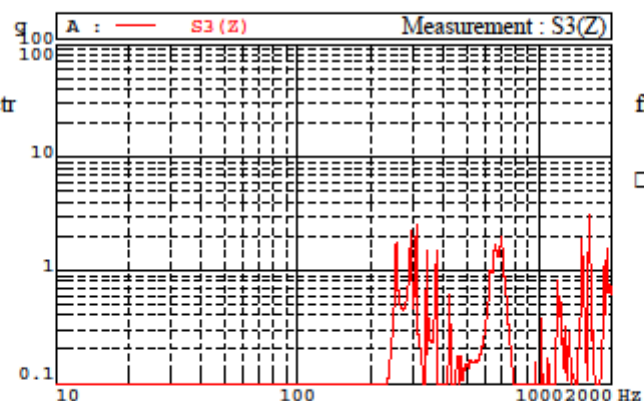
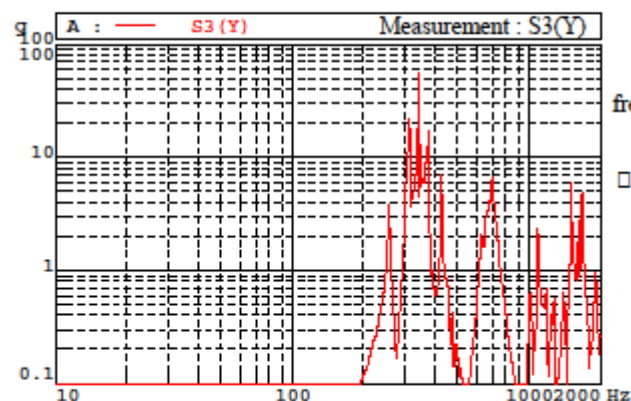
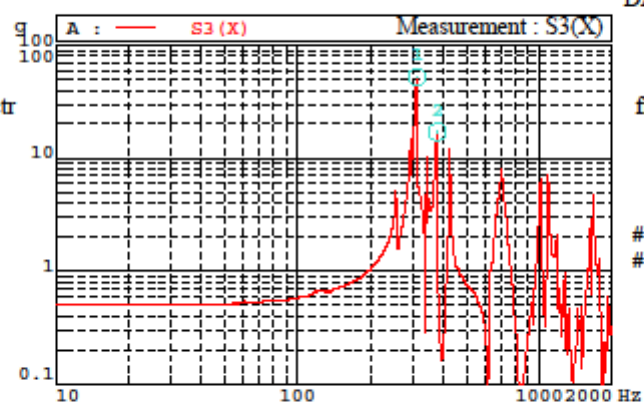
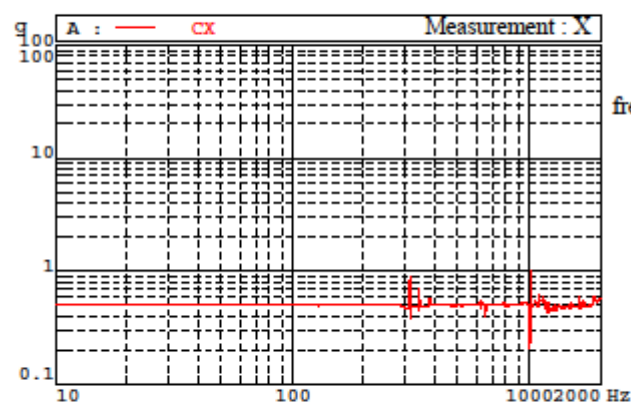


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID.:RUN_VIII
 CONTROL 1 TEST X
 SINE 0.5 g

DATE :31-08-11

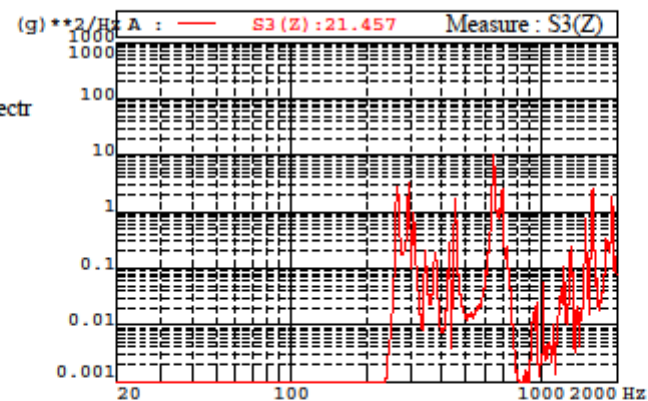
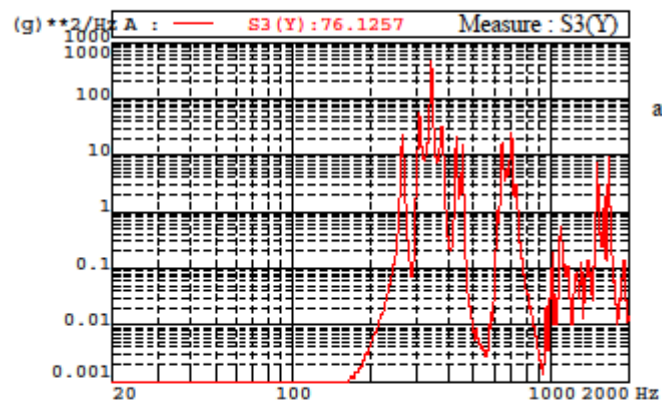
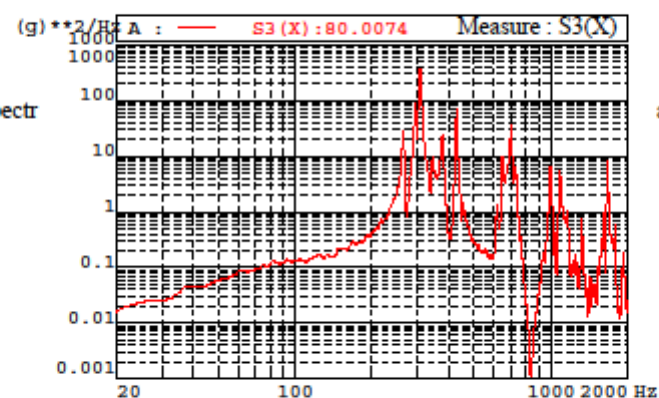
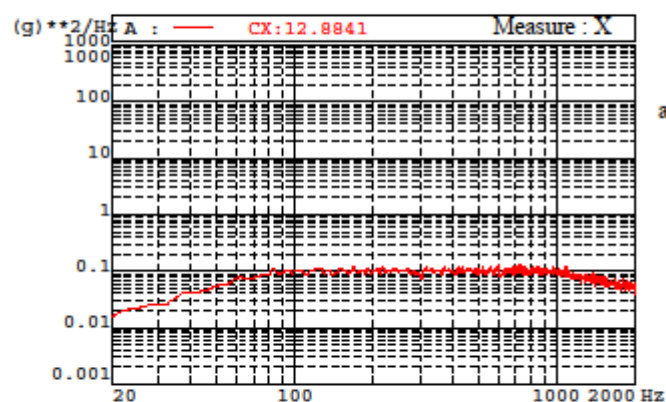




C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID: RUN_IX
RANDOM TEST X
DATE: 31-08-11



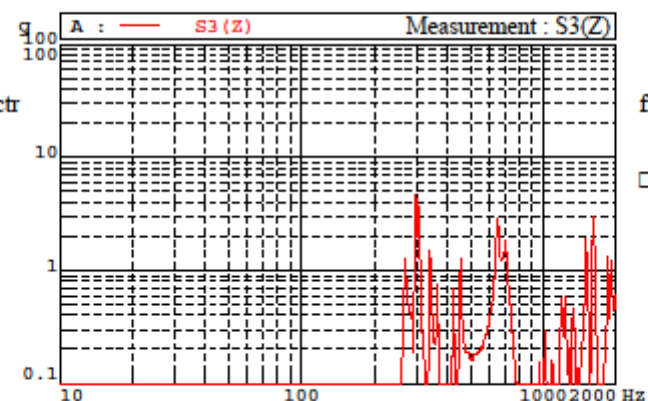
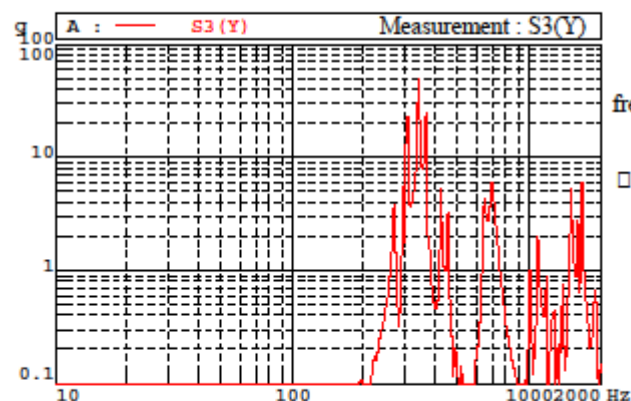
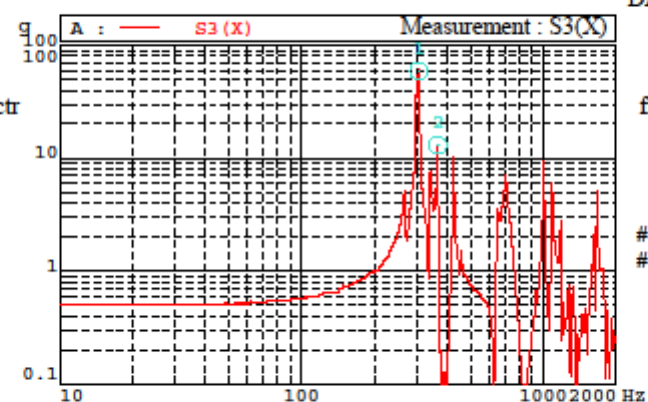
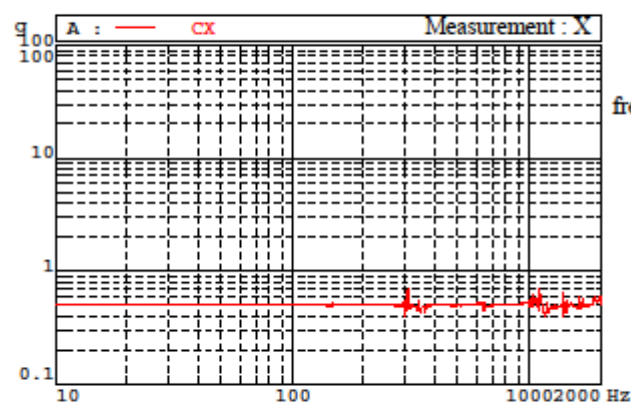


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID.:RUN_X
CONTROL 2 TEST X
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



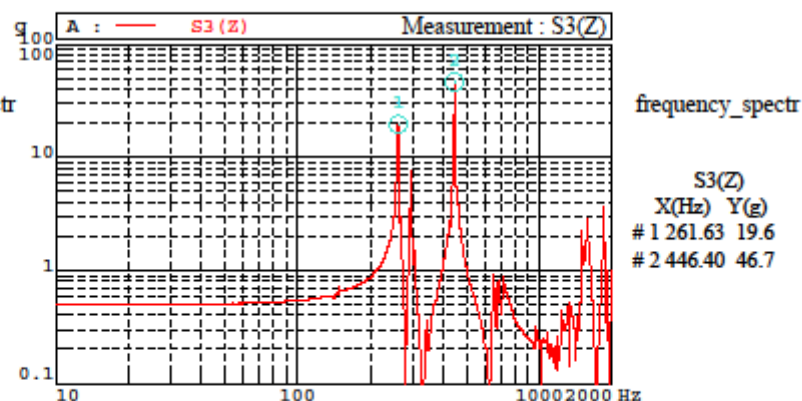
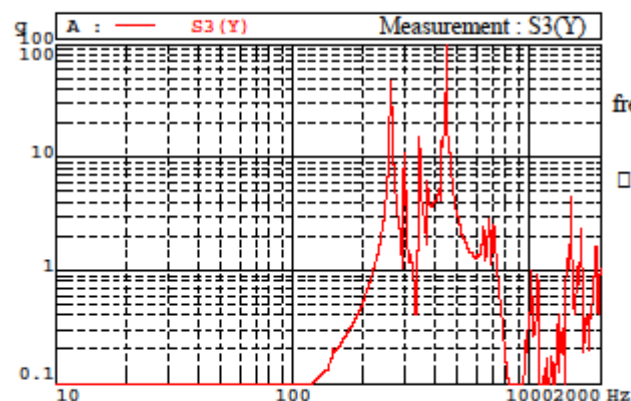
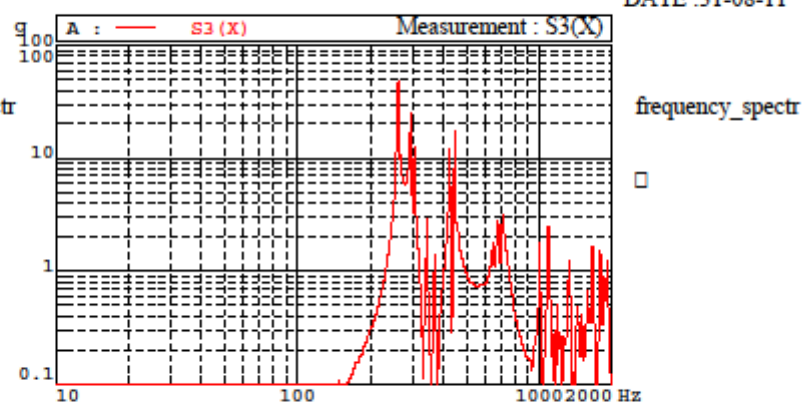
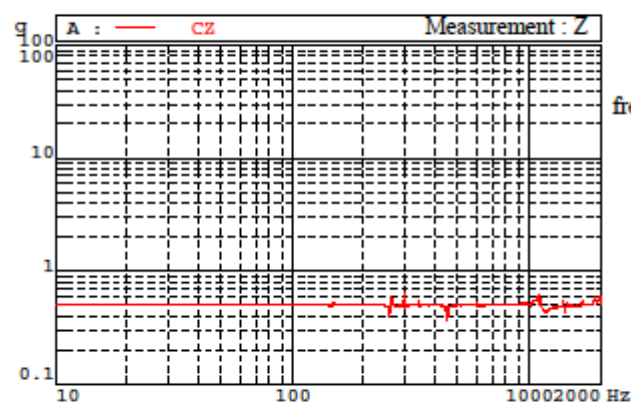


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID.:RUN_XI
REFERENCE TEST Z
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



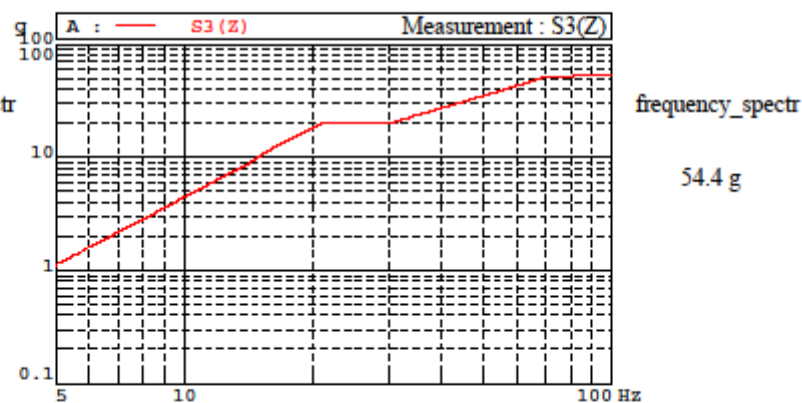
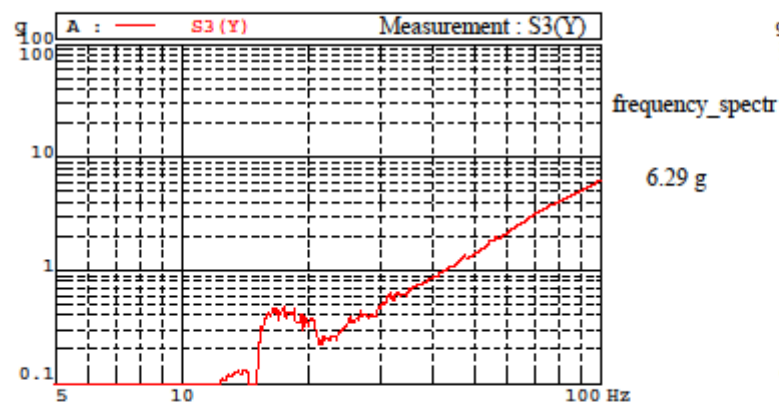
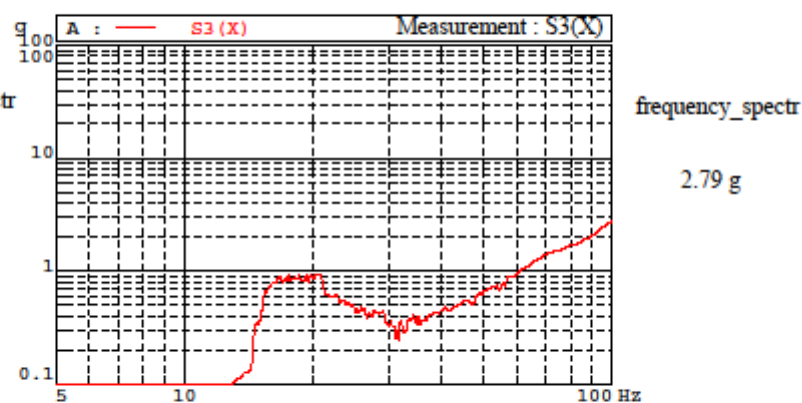
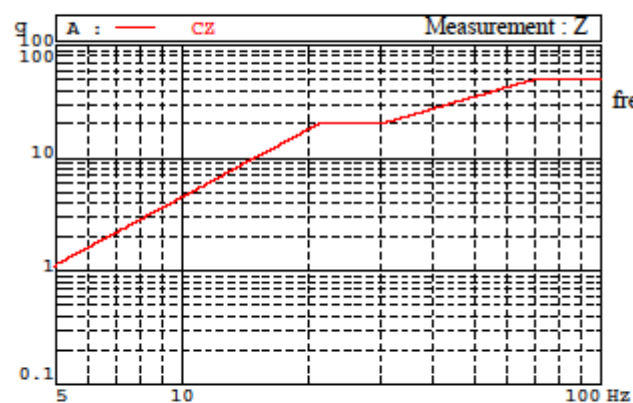


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

TEST ID.: RUN_XII
QUASI-STATIC & SINE TEST Z

PFM S/N:001

DATE :31-08-11



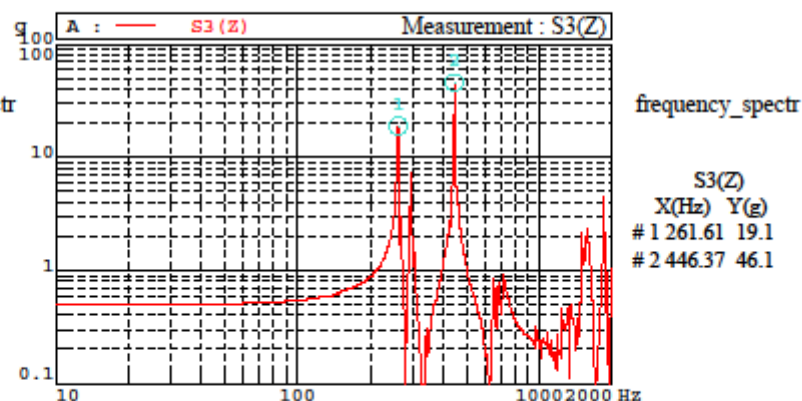
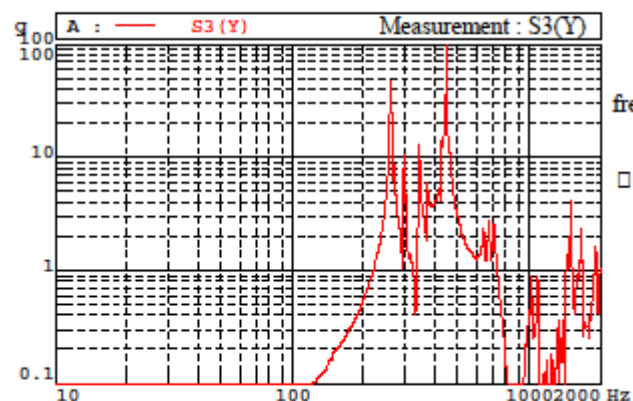
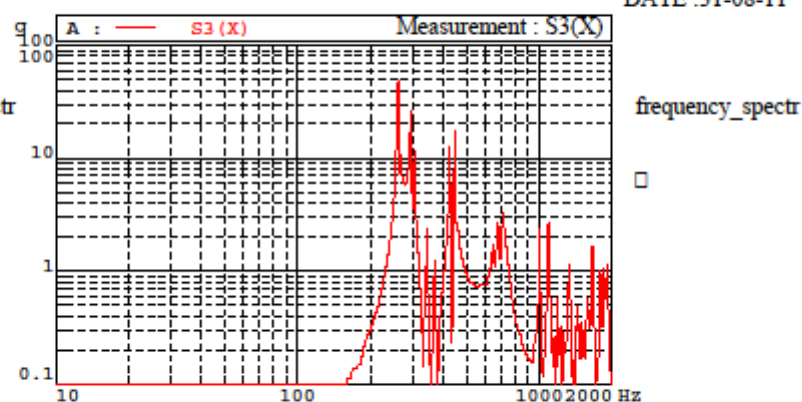
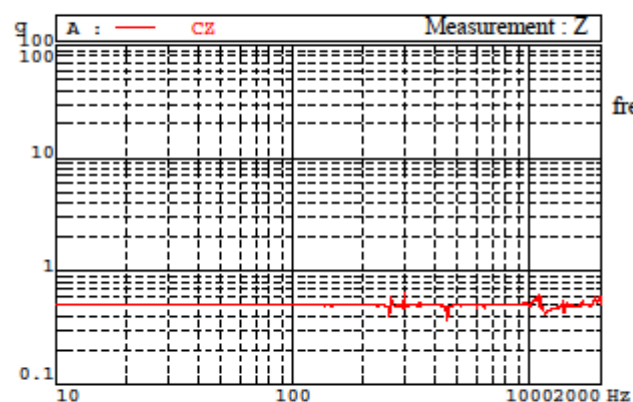


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID.:RUN_XIII
CONTROL 1 TEST Z
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11





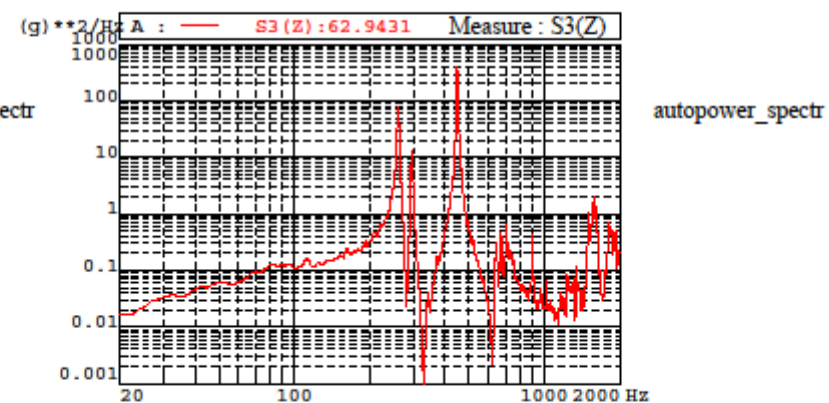
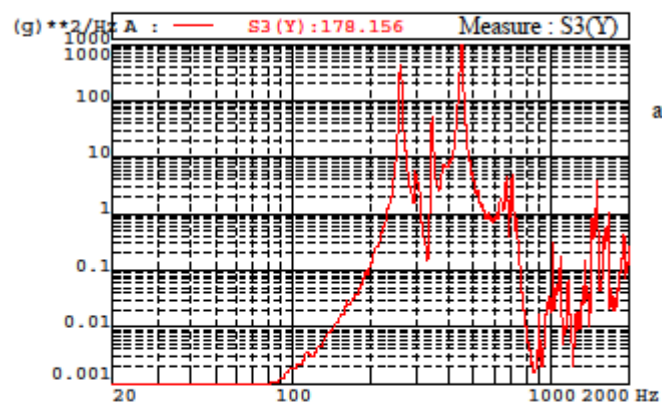
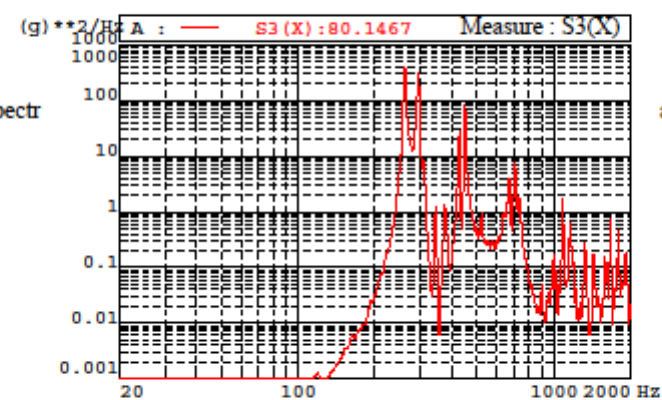
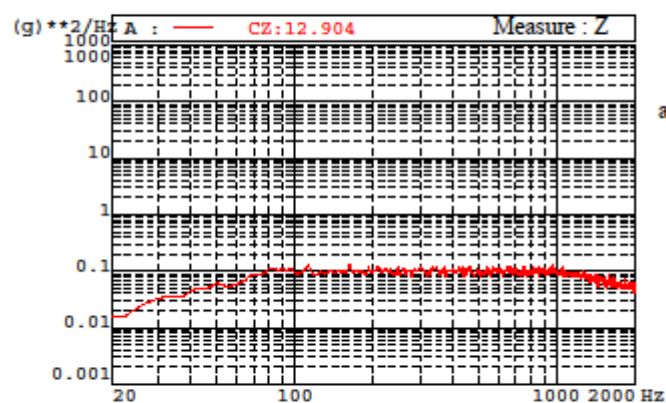
C-BAND BEACON HORN ANTENNA

TEST ID.: RUN_XIV

RANDOM TEST Z

DATE: 31-08-11

PFM S/N:001



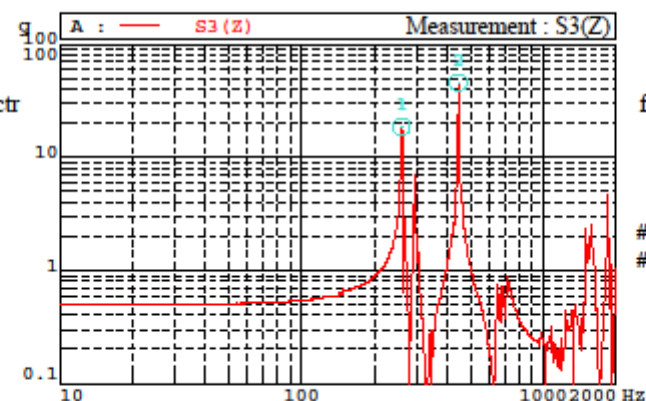
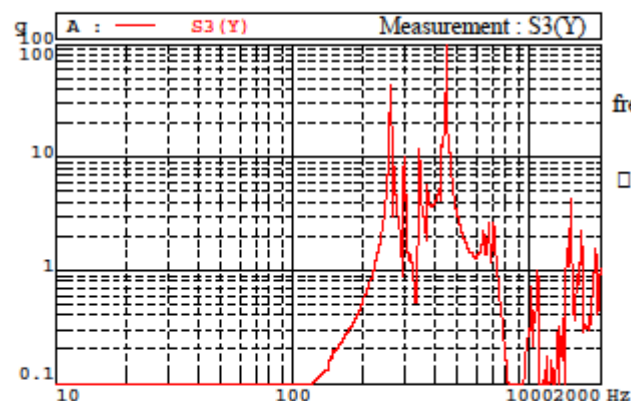
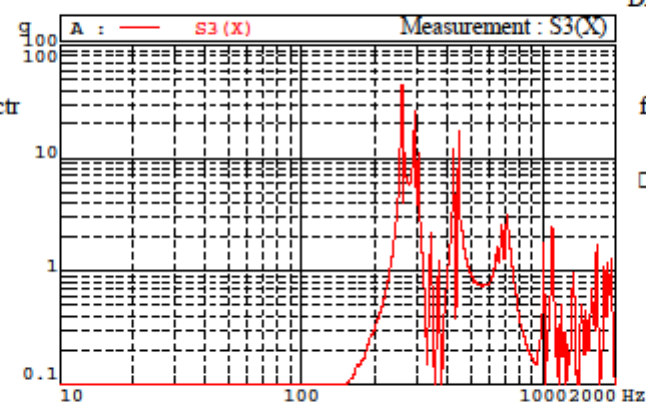
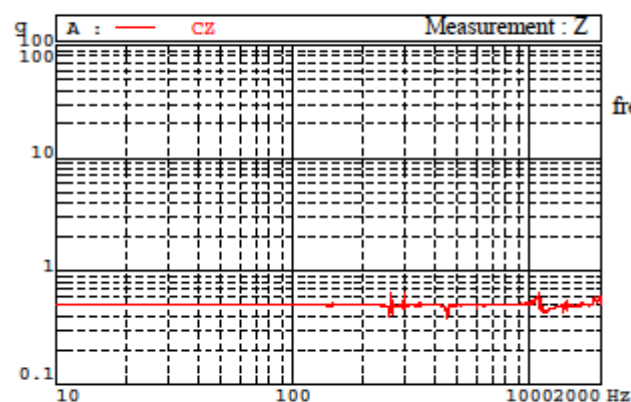


C-BAND BEACON HORN ANTENNA

PFM S/N:001

TEST ID.:RUN_XV
CONTROL 2 TEST Z
SINE 0.5 g

DATE :31-08-11



S3(Z)
X(Hz) Y(g)
#1 259.82 18.6
#2 446.37 45.8